“十五”国家出版规划重点图书
中国科学院高技术研究与发展
“九五”重大项目

《中国古代工程技术史大系》
主编/路甬祥

何堂坤/著

山西出版传媒集团
山西教育出版社

# 中国古代手工业工程技术史（下）

ZHONGGUO GUDAI
SHOUGONG YE
GONGCHENG JISHU SHI

中国古代
手工业（下）
工程技术史

ISBN 978-7-5440-5600-7



定价：230.00元(上、下册)

ZHONGGUO GUDAI
SHOUGONG YE
GONGCHENG JISHU SHI

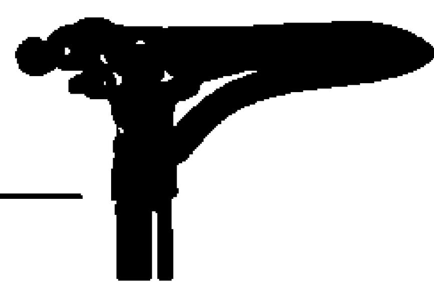
# 中国古代手工业工程技术史（下）

何堂坤 / 著

山西出版传媒集团
山西教育出版社

# 目录

# CONTENTS



是一种在生丝地上，以强碱剂印浆使熟丝显花的工艺。有关实例有：（1）墓108所出“原色地白花纱”，应是先用强碱剂浆料在生丝绸上印花，之后水洗即成。生丝在强碱剂作用下，丝胶膨胀，水洗后花纹部位的丝胶旋即脱去。地部仍为生丝，花纹部便呈现出熟丝的光泽。（2）墓108所出“黄地花树对鸟纹纱”，同样是先在生丝绸上用强碱剂印花，后用直接性植物染料“栀子”浸染即成。因生丝（地部）和熟丝（纹部）在染浴中的染色率不同，故形成了深浅不同的色光。（3）同墓所出“绛地白花纱”，是生丝绸在强碱剂印花后不作水洗，待干燥后，入“红花”染液中作弱酸性染浴即成。花纹部位因有弱酸性中和而不得上色，故呈现绛色地白色花[38]。

绞缬、蜡缬在唐代亦比较流行，尤其是前者，随着植物性染料的发展，曾风靡一时。

## 第五节　机械技术

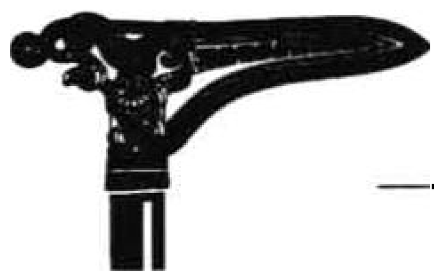
此期机械大部分依然沿用南北朝以来的一些技术，但也有一些改进和创新，其中比较值得注意的是：在耕作机械方面，开始了直辕犁向曲辕犁的转变；粮食加工机械方面，使用了一个水轮带动多个水碾的机构；排灌机械方面，发明了架空索道的辘轳汲水法和井式水车，筒车技术亦有了发展；日用手工业工具中出现了捩轴剪。造船技术方面使用了水密分舱，以及船底髹漆技术，沙船船型开始形成；“车船”技术有了一定提高。天文仪器中的浑天仪技术亦有了发展。此外，人们还制作了诸如走马灯、水饰等众多的游艺性机械。所有这些，对于促进唐代社会生产力的提高和经济的发展，丰富人们的生活，都起到了重要的作用。

### 一、几种农业和手工业机械之发展

#### （一）曲辕犁的发明和推广

我国早期耕犁一般都是直辕的，唐代之后才逐渐开始了由直辕向曲辕的转变[1][2]。直辕犁的缺点是：（1）犁架大而笨重，往往需二牛、多人同时工作，汉代“二牛三人耦耕”便是典型的例证。（2）转弯时较为麻烦，操作起来很不方便。《齐民要术》“耕田”篇云：“今自济州已西，犹用长辕犁，两脚耧。长辕，耕平地尚可，于山涧之间则不任用，且回转至难，费力。”故直辕犁对于牛耕的推广和精耕细作，都是不利的。

有关曲辕的资料始见于唐，张鷟《朝野佥载》卷一说，贞观年间，河北定州鼓城县有个叫魏全的人，其母忽然失明。一天来了位做犁的“青衣者”，此人“持斧绕舍求犁辕，见桑曲枝临井上，遂斫下。其母两眼焕然见物”。此故事原是个传说，但它至少说明，时人使用曲木为犁辕已非稀罕之事。另外，敦煌445号窟壁画上也有一架曲辕犁，农夫用曲辕犁耕种，有人持镰收获，以及打场、挑运等；画面描写了整个庄园的农作场面；断代晚唐[3]。关于曲辕犁的具体结构，唐代陆龟蒙在《耒耜经》中作了精辟描述，说：“耒耜，民之习，通谓之犁。冶金而为之者曰犁镵，曰犁壁，斫木而为之者曰犁底，曰压镵，曰策额，曰犁箭，曰犁辕，曰犁梢，曰犁秤，曰犁建，曰犁槃。木与金凡十有一事”。又云：“前如程而樛者曰




辕。”可见唐犁已有11个部件，结构与今世曲辕犁相近。梩，盖杠[4]。樛，《玉篇》云：“木下曲曰樛”。可见依陆氏原意，唐犁之辕是如盖杠一样向下弯曲之木，说得再清楚不过的。

曲辕的出现是耕犁史上具有划时代意义的事件[5][6]。其主要优点是：（1）节省了人力畜力。在直辕犁中，畜力 $F_n$ 的作用点与犁镵间存在一个较大的距离 d，从而形成较大的转动力矩 M；在耕作过程中，犁的重量 Mg 和耕者向下施加之力 $F_r$ 所形成的力矩必须与转动力矩 M 平衡，否则，犁镵便可能越陷越深而难以正常工作。在曲辕犁中，畜力 $F_n$ 的作用点与犁镵间的距离很小，耕者稍稍向下施力，即可保持犁的平衡，从而减少了耕者的体力消耗。另外，在直辕犁中，为平衡转动力矩，耕者向下所施之力也会加大犁对地面的正压力，从而增加了畜力消耗（图5-5-1）。（2）犁体回转较为灵活。便于在狭小土地上耕作，使牛耕更为有效地推广开来。（3）调节深度的结构较为完善。（4）犁头形式改善[7]。

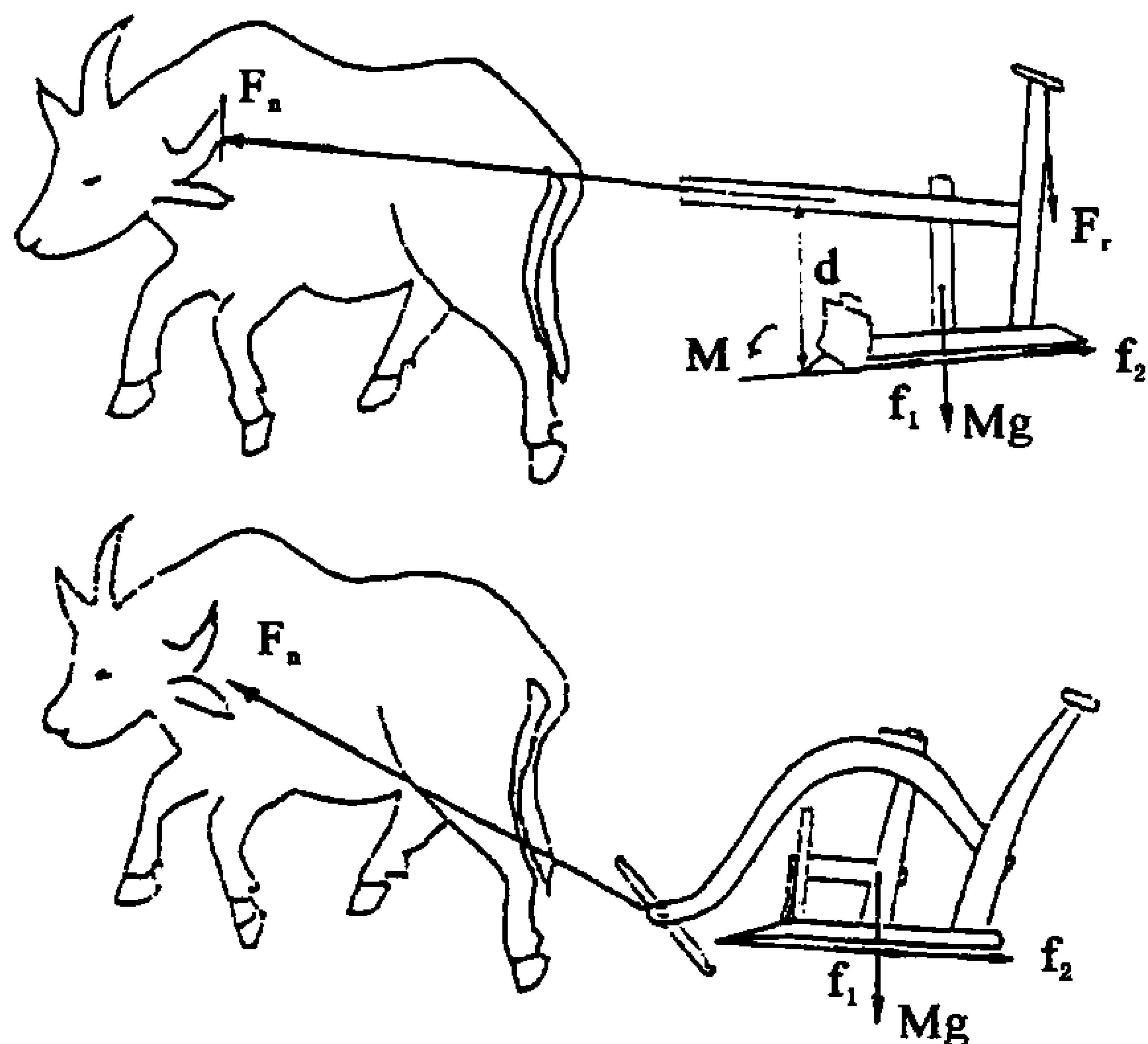



**图5-5-1　直辕犁和曲辕犁受力分析**

采自文献[7]，并稍作调整

在谈到唐代耕作具时，需要一提的是王方翼的代耕具。《旧唐书》卷一八五上“王方翼传”载：永隆（680~681年）中，车簿反叛，王方翼“以功迁夏州都督，属牛疫，无力营农，方翼造人耕之法，施关键，使人推之，百姓赖焉”。可见这是一种“施关键，使人推之”的人耕之法。具体结构虽已难得了解，但它曾经使用于生产却是肯定的。

（二）田地整理机械的发展

此期值得注意的田地整理机械主要有：耙、礰礋、砺礋。

陆龟蒙《耒耜经》载：“耕而后有爬，渠疏之义也。散拨去芟者也。”可见耙是用作破碎翻起来的土块和清除杂草残茬的。元王祯《农书》卷一二“农器图谱”云：“今日只知犁深为功，不知耙细为全功，耙功不到，则土粗不实，后虽见苗立根，根土不相著，不耐旱，有悬死、虫咬、干死等病。耙功到则土细又实，立根在细实土中，又碾过，根土相著，自然耐旱，不生诸病，盖耙遍数惟多为熟。”此



耙的力学结构虽较简单，但在农业之精耕细作中，却占有十分重要的地位。

《耒耜经》又云："爬而后有砺䃈焉，有磟碡焉。自爬至砺䃈皆有齿。磟碡，觚棱而已，咸以木为之，坚而重者良。"

磟碡，《齐民要术》名之为"陆轴"。其约有石制、木制两种，又有旱作、水作两种，元王祯《农书》卷一二"农器图谱二·磟碡"条作了进一步说明："然北方多以石，南人用木。盖水陆异用，各从其宜也。其制可长三尺，大小不等，或木或石，刊木刮之。中受簨轴，以利旋转，又有不觚稜混而圆者，谓混轴，俱用畜力挽行，以人牵之，碾打田畴上，块垡易为破烂"。

砺䃈，王祯《农书》卷一二"农器图谱二"说其"与磟碡之制同，但外有列齿，独用于水田，破块滓，溷泥涂也"。

此磟碡、砺䃈大体都是一种轮轴结构，把直线运动变成圆周运动（或说把移动变成转动），利用周边的凸棱和列齿，将土块打碎，并平整地面。

（三）排灌机械之发展

此期较值得注意的排灌机械主要有下面几种，其中有唐代发明的，也有汉代发明的。

1. 架空索道的辘轳吸水装置

《刘梦得文集》卷二七载《机汲》说："比竹以为畚，置于流中，中植数尺之臬，辇石以壮其趾，如建标焉。索绹以为絙，縻于标垂，上属数仞之端；亘空以峻其势，如张弦焉。锻铁为器，外廉如鼎耳，内键如乐鼓，牝牡相函，转于两端，走于索上，且受汲具。及泉而修绠下缒，盈器而圆轴上引；其往有建瓴之驶，其来有推毂之易。瓶繘不羸，如博而升；枝长澜出，高岸拂林杪，踰峻防；刳蟠木以承澍，贯脩�已达脉。"[8]刘禹锡（772～842年），字梦得，此说起承载作用的架空索道，由辘轳处一直延伸到了水中竖立的木桩上，木桩以笼石为基座。索道上挂一个"外廉如鼎耳，内键如乐鼓"的宽槽滑轮，水桶系于其下。另设长绠牵引水桶。水桶由于自身的重力而沿索道下滑，并没入水中汲水，之后摇动辘轳的摇柄，便可将水桶提上。此技术约始见于唐，主要使用于江南沿江地区的大斜坡上。这是唐代排灌机械的一大发明。它不但扩大了汲水的空间跨度，而且具备了索道运输之雏形[9]。

2. 井式水车

这是一种链筒式（或链斗式）垂直汲水机械，它用木桶（或戽斗）负水，一个个木桶（或戽斗）串联着，套在井边的立轮上；立轮转动，木桶便连续将水提起。主要使用于华北、西北干旱地区。《太平广记》卷二五〇"邓玄挺"条引《启颜录》云："唐邓玄挺入寺行香，与诸僧诣园观植蔬，见水车以木桶相连，汲于井中。乃曰：'法师等自踏此车，当大辛苦。'答曰：'遣家人挽之。'"可见此井式水车是以一串相连的水桶依次沉入水中提水的；可用脚踏动，亦可用手挽动；很可能使用了齿轮传动[9][10]。其中的木质链条，便成了具有传送功能的搬运链。依《旧唐书》卷一九〇上所说，邓玄挺卒于唐武后永昌元年（689年）。可知这种机械至迟唐代早期便已发明。此外，《刘梦得文集》外集卷二《何处春深好》诗说"比栽篱槿，咿哑转井车"。此"井车"也应当是井式水车。有关情况第七章还要

谈到。

3. 筒车

原指侧立于河边的轴式大竹（木）轮，其周边绑有许多倾斜放置的竹筒，利用河水的力量推动大竹轮旋转，竹筒把水汲到高处。其约发明于汉，汉代名之为“翻车”，唐代和北宋多谓之“水轮”，南宋和元代之后才多称之为“筒车”[9]。

《全唐文》卷九四八载陈廷章《水轮赋》说:“水能利物，轮乃曲成……斫木而为，凭河而引；箭驰可得而滴沥，辐凑必循乎规准，何先何后，互兴而自契心期。”“信劳机于出没，惟与日而推移，殊辘轳以致功，就其深矣。鄙桔槔之烦力，使自趋之。”“磬折而下随毖彼，持盈而上善依于。”显然，此“轮乃曲成”等，描写的正是筒车制作和工作状况。

关于唐代或唐前筒车的结构，今已难得了解。元王祯《农书》卷一八“农器图谱·灌溉门”曾有详细说明，且曾附图，对我们还是很有帮助的。其云:“筒车，流水筒轮。凡制此车，先视岸之高下，可用轮之大小，须要轮高于岸，筒贮于槽，乃为得法。其车之所在，自上流排作石仓，斜擗水势，急凑筒车。其轮就轴作毂，轴之两旁，阁于椿柱山口之内，轮辐之间，除受水板外又作木圈，缚绕轮上，变系竹筒或木筒（原注:谓小轮则用竹筒，大轮则用木筒）。于轮之一周，水激轮转，众筒兜水，次第下倾于岸上，所横木槽，谓之天池，以灌稻田，日夜不息，绝胜人力，智之事也。”（图5-5-2）此“受水板”即挡水板，是水的作用面。水力从切线方作用于受水板，推动水轮转动。斜缚于轮周上的水筒便源源不断地将河水提起，并倾入“天池”（受水槽）内。这是普通形式的筒车，其水轮为立轮。这种机械因制作简便，一旦制作成功，便长年不息，汲水不断。

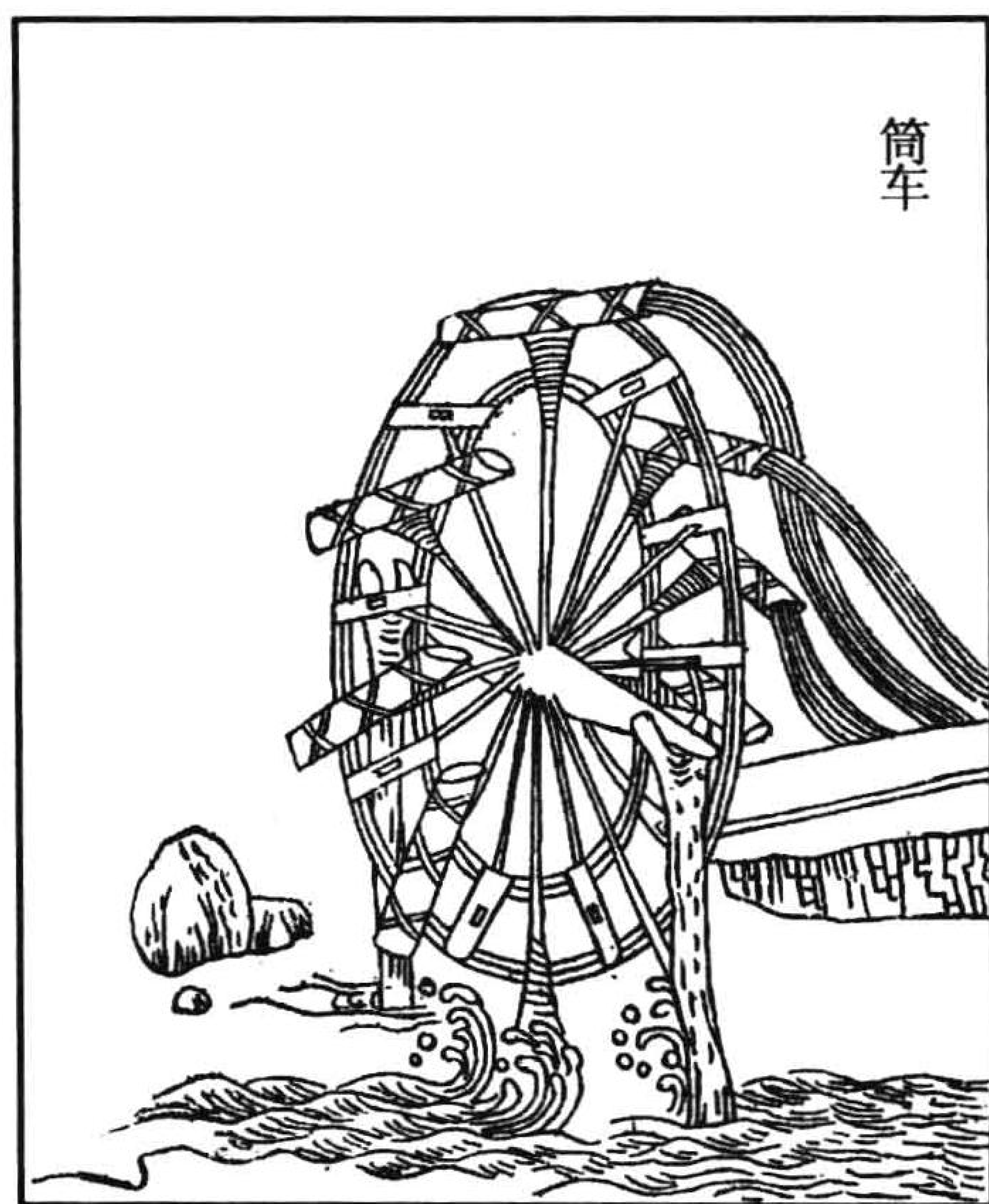


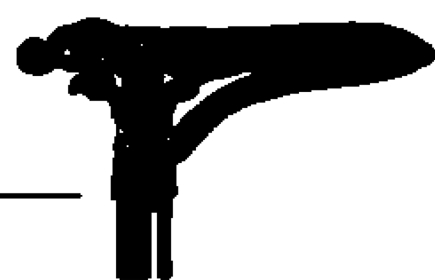
图5-5-2 元王祯《农书》所载筒车图

(四) 水碾、水磨的发展

此两种水力机械约发明于南北朝，隋唐之后有了进一步发展。

《唐会要》卷八九载:“开元九年正月，京兆少尹李元纮奏，疏三辅诸渠，王公之家，缘渠立硙，以害水功，一切毁之，百姓大获其利。至广德二年三月……奏请拆京城北白渠上王公寺观硙碾七十余所，以广水田之利。”此说因某些关系处理不当，故发生农田与硙碾争水之事。全文虽说的是毁碾，但也说明了碾之发展。同书同卷还说:“大历十三年正月四日奏，三白渠下，碾有妨，合废拆，总四十四所。”

关于唐代水碾的结构，文献上未曾细说。陆羽《茶经》卷中谈到过一种茶碾，



对我们或有一定帮助；其云:“碾以桔木为之，次以梨、桑、桐、柘为之，内圆而外方。内圆备于运行也，外方制其倾危也。内容堕而外无余木堕，形如车轮，不辐而轴焉。长九寸，阔一寸七分，堕径三寸八分，中厚一寸，边厚半寸，轴中方而执圆。其拂末以鸟羽制之”。

唐代水碾技术上的主要成就，是出现了一个水轮带动多个碾轮的机械。《旧唐书》卷一八四“高力士传”载，“力士资产殷厚，非王侯能拟……于京城西北截沣水作碾，并转五轮，日破麦三百斛”。此“并转五轮”之说，是不见于前的，可能还使用了齿轮传动。此外，《太平广记》卷二二七“伎巧·张芬”条引《酉阳杂俎》载:“张芬曾为韦皋行军，曲艺过人，力举七尺碑，定双轮水碾。”说明唐代曾有双轮、五轮水碾。

唐代水力利用技术上还有一件值得注意的事，即出现了船磨。据《鸣沙石室佚书》“唐水部式”载：唐咸通八年（867 年）曾下令“洛水内及城外在侧，不得造浮硙”。此硙，即磨，“浮硙”当即后世之所谓船磨。唐代船磨的具体结构已难了解，元王祯《农书》、明唐顺之《武编前集》等都有记述，对我们还是很有帮助的。王祯《农书》卷一九“农器图谱·利用门·水磨”载:“复有两船相傍，上立四楹，以茆竹为屋，各置一磨，用索缆于急水中流，船头仍斜插板木凑水，抛以铁爪，使不横斜，水激立轮，其轮轴通长，旁拨二磨，或遇泛涨，则迁之近岸，可许移借，施之他所，又为活法磨也。”

（五）捩轴剪

由于钢铁技术的发展，唐宋时期，一些手工工具从材质到形制都发生了一些变化，剪刀便是其中一个代表。

剪刀在唐代的发展有 3 件值得注意的事项：

一是出现了一些名牌产品，有的还成了贡品。杜甫《戏题王宰画山水图歌》云:“焉得并州快剪刀，剪得吴淞半江水。”[11]此说并州剪较为锋利，且已负盛名。《新唐书》卷三七“地理志”谈到邠州时，说其“土贡剪刀”等物。自然，此邠州剪也是名牌产品。

二是唐代出现了一种“两片式”铁剪。如前所云，汉代铁剪皆由一根铁条弯曲而成，外形呈开口“8”字状，依靠弹力来张合两刃，俗谓交股剪；直到唐代，多数唐剪依然如此，使用起来很不方便。1991 年，湖南益阳轴承厂出土一把铁剪，由两片铁制成，长 18 厘米、刃宽 2. 2 厘米，断代唐代晚期。伴出物有鸳鸯衔绶镜，以及具有唐代风格的青瓷双系罐[12]。因锈蚀较甚，此剪的材质、加工方法皆难了解。但既为“两片”铁，便须得有轴，否则这两片铁是难得支承和张合的。如若报道无误的话，此便是我国最早的捩轴剪。它的出现，便改善了剪的使用状况，提高了生产效率。宋代之后，捩轴剪迅速推广，河南[13]、北京等地都有出土[14]。

三是出现了不少炒钢锻的铁剪。汉魏时期，铁剪多是铸制的，之后再进行脱碳退火处理。近年有人分析过部分西安隋唐墓、洛阳唐兴元元年墓出土的铁剪，皆由炒钢锻成，其中皆见有较多的硅酸盐夹杂[15]。以炒钢为原料，以锻打方式成型，这是剪刀技术的一大进步。宋代之后，铸制的铁剪逐渐减少。

剪刀一般都是钢铁质的，但也有少数青铜质。商承祚《长沙古物闻见记》卷

下载有一把唐代铜质交股剪，长 11.8 厘米、厚 0.2 厘米，墓葬出土[16]。这大约是为了满足一些特殊需要而制作出来的。

**二、抛石机和弩机技术之发展**

抛石机和弩机，都是古代战争的主要远射兵器，唐宋时期有了较大发展，并成了军队配置的重要武器，在战争中显示出强大的威力。

（一）抛石机

发明于先秦，此期使用更多，射程更远，人们还较多地用它投射引燃之物。

《新唐书·李密传》载：大业十三年，“护军将军田茂广造云旝三百具，以机发石，为攻城械，号将军礮，进逼东都”。旝，《说文解字》云：“旌旗也”。“一曰建大木，置石其上，发以机，以槌敌”。

《旧唐书·侯君集传》：唐初名将侯君集攻高昌，“抛车飞石，击其城中，其所当者无不靡碎……城上守陴者不复得立，遂拔之”。

《新唐书·高丽传》载，唐征高丽时，“勣列抛车，飞大石过三百步，所当辄溃”。

杜佑《通典》卷一六〇“兵十三·攻城战具附”还对抛车的结构作了较为详细的说明：“以大木为床，下安四独轮，上建双陛，陛间横检，中立独竿，首如桔槔状，其竿高下长短大小以城为准，首以窠盛石，石大小多少随竿力所制，人挽其端而投之，其车推转逐便而用之。亦可埋脚著地，逐便而用其旋风四脚，亦可随事而用。谓之抛车。”可见唐代的抛车（礮车）有固定式和可移动式等种。此“旋风”，即抛杆（雄姿杆）可以旋动者，使用起来较为方便，《武经总要》也曾有说明。

唐代以前，抛石机的投掷物主要是石块之类，唐代之后，便较多地投射了引火之物，这是抛石机发展史上的一次重大变化；但在相当一个时期内，人们依然将这种投石机称之为“礮”或“砲”，而不是从火之“炮”。从现有资料看，投掷“引火物”之事至迟始于唐代中期，《全唐诗》卷三一六载武元衡（758～815 年）《出塞作》云：“白慢羽矢飞先火礮，黄金甲耀夺朝暾”。此“火礮”，当是投掷“引火物”的抛石机。宋路振（957～1014 年）《九国志》卷二载：唐哀宗天祐元年（904 年），郑璠攻豫章（今南昌），“璠以所部发机飞火，烧龙沙门，率壮士突火先登入城，焦灼被体，以功授检校司徒”。此“发机飞火”，当亦以抛石机掷出燃烧物。到了宋代，“发机飞火”便普遍使用起来。宋初许洞于景德元年（1004 年）撰《虎钤经》卷六云：“飞火者，谓火炮、火箭之类也。”

（二）弩机

发明于铜石并用时代及至新石器时代晚期，唐代已正式把它列入军队的必备兵器配置。《唐六典·武库令》载：“弩之制有七，一曰擘张弩、二曰角弓弩、三曰木单弩、四曰大木单弩、五曰竹竿弩、六曰大竹竿弩、七曰伏远弩。”杜佑《通典》卷一六〇还说到过一种车弩：“作轴转车，车上定十二石弩，弓以铁钩绳，连车行轴转引弩弓持满。弦牙上弩为七衢，中衢大箭一鏃，刃长七寸，广五寸，箭杆长三尺，围五寸，以铁叶为羽……其牙一发，诸箭齐起，及七百步，所中城垒无不摧陨，楼橹亦颠坠，谓之车弩。”同书卷一四九“兵二·法制附”谈到过一种绞车弩，“今有绞车弩，中七百步，攻城拔垒用之。擘张弩中三百步”。若依西安

出土的镀金镂花铜尺（1 尺 =0. 301 米）计[17]，此绞车弩的射程则为 1053. 5 米。《资治通鉴》“周世宗显德元年（955 年）”载，周世宗柴荣南征时，南唐寿春城守军“城上发连弩射之，矢大如屋椽”。此说可能有些夸张，但这也说明了唐、五代强弩威力之大。

**三、造船技术之发展**

隋唐时代的造船技术比较发达，不管内陆航运，还是海运，都达到了较高水平。

隋初便建造了一些大船，据《隋书》卷四八“杨素传”载：为灭陈故，杨坚命杨素在永安（今四川奉节）制造“五牙”、“黄龙”等大型战船。其中“五牙，上起楼五层，高百余尺，左右前后置六拍竿，并高五十尺，容战士八百人，旗帜加于其上”。此“拍竿”是用来拍击近旁敌船的。依西安镀金镂花铜尺，此“百余尺”则相当于今 30 余米[17]。而黄龙船则“置兵百人”。杨素还利用夜间袭击，“亲率黄龙数千艘，衔枚而下”，悄悄接近陈军水寨，天明之时，水陆两军夹攻，大获全胜。当时不但官家，而且私人也能建造大船。《隋书·高祖纪下》载，开皇十八年诏曰:“吴越之人往承敝俗，所在之处私造大船，因相聚结，致有侵害，其江南诸州，人间有船长三丈已上，悉括入官”。

据《旧唐书》卷四三载，唐廷设有专门的都水监，职掌天下“舟楫灌溉之利”等。隋唐五代在许多地方都设有大型造船场，其中又以江南为众。大家较为熟悉的如扬子县（在今江苏仪征）船场、浙东船场、洪州船场、嘉州船场、金陵船场、广州船场等。《唐语林》卷一“政事上”：刘晏“初议造船，每一船用钱百万……乃置十场于扬子县，专知官十人，竞自营办”。可知扬子县有十个造船场。又据《新唐书》卷五三“食货志”载，代宗广德二年，凡漕事亦皆决于刘晏，为减少转运之费用，“晏为歇艎支江船二千艘，每船受千斛，十船为纲，每纲三百人，篙工五十人”。可见扬子县造船量是较多的。《白孔六帖》卷一一载:“韩滉迁浙东西观察使，造楼船三十艘”（按:“四库”本作“三千柁”）。《新唐书》卷一〇〇“阎立德传”载，立德复为将作大匠，“即洪州，造浮海大航五百艘”。《旧五代史》卷一三六“王衍传”载:“伪东川节度使宋承葆献计于衍……请于嘉州沿江造战舰五百艘。募水军五千。”诸船场之中，又以金陵楼船最盛。据《资治通鉴》卷一九七载：贞观十八年（644 年）秋七月，唐太宗为东征之需，“敕将作大监阎立德等诣洪、饶、江三州，造船四百艘以载军粮”。冬十一月，以刑部尚书张亮为平壤道行军大总管，“战舰五百艘，自莱州泛海趋平壤”。唐船的载重量最大可达八九千石。《唐语林》卷八载:“水不载万，言‘大船’不过八、九千石。大历贞元间，有俞大娘航船最大，居者养生送死婚嫁悉在其间，开巷为圃，操驾之工数百。南至江西，北至淮南，岁一往来，其利甚大。”（1 石，120 斤）《汉书·律历志》上:“三十斤为钧，四钧为石。”从出土的唐税银和库银看，唐一大两约合 40. 3 ~43. 59 克间[18]，若依 42 克计，一斤则为 672 克；九千石便是 3628. 8 吨。这种巨型私船的出现，充分反映了唐代造船技术之发展。唐代的海上交通，北可达朝鲜、日本，南及南亚和阿拉伯地区。

隋唐木船在考古发掘中也常看到。1975 年，山东平度县胶莱河下游出土一只

隋代双体木船，残长20.24米，最大宽度2.82米，“单体”各为一条独木舟[19]。1996年，河南永城市京杭大运河故道出土唐代木船一艘，保存基本完整，现长24米、宽5米多，船体内深约1.4米，主要由船艏、船艉、船舱、船舷、船底组成，可分为33个舱，为内河运输船。河底出土有唐代早期的“开元通宝”钱1枚；船内和船体以上淤土中出土有三彩注子、三彩盆、三彩方壶、瓷碗等初唐瓷器，断代初唐[20]。1999年安徽淮北市濉溪县隋唐运河中出土多艘唐代沉船，其中1号船之船体残长9.6米，船之底板、后舱、拖舵皆保存较好；经复原，总长18.97米，总宽2.58米，船深1.1米。载重量估计可达8～10吨。尤其值得注意的是，此船上还发现了一枚拖舵，其状如切头枇杷叶，总长4.2米，其中舵叶长2.15米，最大宽度1.26米，叶厚5厘米，舵叶由两块板拼接而成[21]。我国古船之舵约发明于先秦时期，有关记载和模型始见于汉；此濉溪舵是今见最早的实物舵。虽其形态较为原始，但操纵起来还是十分便捷的。如《释名》所云，早期船舵是拖于船后的；当人们把舵柱的入水方式由斜向改成了竖向后，才演变成了垂直舵。因唐开元间著名画家郑虔所绘山水画中已出现过具有垂直轴的舵，故其发明期当在唐或唐代以前[22]。

此期造船技术上的进步主要有：

1. 发明了水密舱

这是一种利用水密舱壁把船舱分隔成多间的技术，其主要功效有二：（1）可增加船的抗沉性，即便一舱漏水，其他舱仍能安然无恙。（2）可起到支承、加强甲板和外板的作用，使船体具有足够的横向强度和抗扭刚性。水密舱壁一般都是经过密封处理、由多块厚板拼合成的横向壁板。

水密分舱技术至迟发明于唐代早期。1973年，江苏如皋县出土一艘唐代早期木船，出土时首尾皆部分损坏，残长17.32米，全船计分九舱，第三、四、五舱之间隔舱板内部互通，第六、七两舱之间为舱门，第二、三舱之间隔板中尚存一段桅杆。船舱和船底用铁钉按人字形钉牢，缝间用石灰桐油填塞，严密坚固，力学结构较为合理[19][23][24]。1960年，江苏扬州施桥镇出土两只唐代晚期木船，大者残长18.4米，船艏部分已被破坏，全船分为5个大舱和若干个小舱。隔舱板和船弦榫接，隙缝处用油灰填塞[19][25]。水密分舱技术的发明，是中国对世界造船技术的一项重要贡献。著名科学史家李约瑟博士认为，欧洲的水密分舱是18世纪时从中国学去的[26]。

关于水密分舱的技术渊源，往日人们不太注意。承郭可谦先生函告云：它很可能与船体横向加强性隔板的使用存在一定关系。一般的独木舟，舱内是未必设置横向隔板（隔条）的①；随着船体的增大，其牢固性就成了较为突出的问题，设置横向隔板（或隔条）就成了一项重要的技术措施，便逐渐出现了分舱技术。最早的分舱当是不防水的；当漏水问题突显出来后，才出现了水密分舱技术。我认

① 从大量考古资料看，我国出土的独木舟多无横向支撑构件，但也有例外，广东化州曾出土过6艘东汉独木舟，舟壳皆较薄，其中2号舟保存较好，舟内两侧各有7个左右对称的稍微突起的木痕，实则横向构件，其把舟分成了8隔（舱），每隔长在0.23～0.6米间。详见湛江地区博物馆等:《广东省化州县石宁村发现六艘东汉独木舟》,《文物》1979年第12期。





为此说很有见地，水密分舱很可能是在船体横向加强隔板的基础上，在防漏实践中逐渐创造出来的。

2. 车船技术有了进步

文献上关于车船的记载始见于南北朝，至迟唐代就用到了战船上。《旧唐书》卷一三一“李皋传”说：李皋“常远心巧思，为战舰，挟二轮蹈之，翔风鼓疾，若挂帆席，所造省易而久固”。此第一次明确谈到了以脚驱动战舰的情况，在造船史上具有重要的意义。《册府元龟》卷九〇八也有类似说法，“皋为洪州观察使，尝为战舰，挟以二轮，令蹈之，翾风鼓浪，其疾如挂帆席”。

3. 沙船的发明

适应于各种不同的水下条件和用途，人们设计出了各种各样的船型。在杭州湾以北，常因水浅、沙滩多而建平底水船；以南则因水深、岛屿多、暗礁多而建尖底船。

沙船是在古代平底船基础上发展起来的。基本特点是：平底、方头、方艄、船身较宽、吃水较浅，具有航行平稳和便于通过浅水的优点。其以“出崇明沙而得名”[27]。今见最早实物是后唐庄宗同光二年（924 年）沉没于爪哇岛三宝垅附近的一艘中国船，确认为是沙船[28]。由此看来，沙船的发明年代应可上推到唐代中晚期。有学者认为，唐代北洋航线上常有海运之事，如杜甫《后出塞五首》所云“云帆转辽海，粳稻来东吴”，以及《昔遊》诗云“幽燕盛用武，供给亦劳哉。吴门转粟帛，泛海陵蓬莱”①。可能都与北洋航船有关，而沙船正是典型的北洋船型[29]。有学者认为，敦煌壁画中亦不乏沙船的资料[30]。在宋、元、明、清各代，沙船都是我国主要船型之一。

与沙船发展的同时，大约以福州船型为代表的“福船”也已出现，主要依据是《西山杂志》说过天宝年间泉州所造海船，其底“作尖圆形”[28]。至迟北宋初期，便有了尖底船的确切记载。

4. 船底髹漆

《旧唐书》卷一四六“杜亚传”载，唐德宗贞元（785～805 年）年间，杜亚任扬州长吏兼淮南节度观察使，“江南风俗，春中有竞渡之戏，方舟并进，以急趋疾进者为胜。亚乃令以漆涂舩底，贵其速进。又为绮罗之服涂之以油，令舟子衣之，入水而不濡”。船底涂漆一方面可减少阻力，令其速进，此外，还可起到防腐作用。江南水土微显酸性，油漆防腐效果还是比较明显的，后世一直沿用。又，《太平广记》卷二二七引《谭宾录》云：唐玄宗于华清宫“置长汤池数十间，屋宇环廻，甃以文石，为银镂漆船及檀香水（木）船”。这里也谈到了船之髹漆，应是现实生产技术的一种反映。

这种涂漆船在考古发掘中也曾看到。前云 1996 年河南永城市京杭大运河故道处出土的唐代木船，船底由 8 块木板组成，表面便曾涂漆。船板缝填以麻丝类和香油灰捣成的粘合物[20]。

① 此诗标题中用了一个“繁体”字，此乃不得已而为之，若将“遊”字写成了“游”字，就很容易造成误解，让人认为此诗的内容是说往昔的游泳。

5. 铁锚的产生和发展

铁锚，又作铁猫、铁锚。明焦竑《俗书刊误》卷一一载："船上拏泥铁器曰锚，音茅。"我国古代铁锚的发明期目前尚无定论。在词书中，"锚"字始见于梁顾野王原著的《玉篇》，释之为"器"。此书虽曾经后人增删，但仍不能排除铁锚发明于南北朝的可能性。从现有资料看，关于铁锚的确切资料是到了五代和宋才看到的。五代卫贤绘有《闸口盘车图》，主题画面是官营磨面作坊的生产场面，其上约有40余个栩栩如生的人物，磨坊前有一河道，河中有小船往来，其中一船的船头板上倒扣一个齿状物，计4齿，并列一侧，酷似农具中的铁耙，两肩下削，且呈弧状弯曲，当系铁锚形象[31]。关于锚的文字记载是到了宋代才看到的。不论在东方还是西方，铁锚皆是古代一种较大的锻件。关于铁锚制作工艺，明代部分再作介绍。

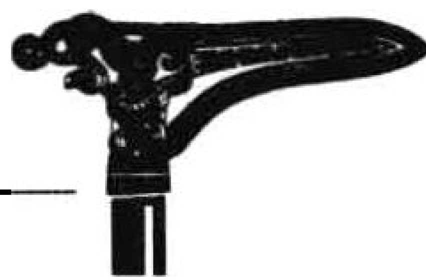
造船用料多用楠木、樟木等优质木材。《元和郡县志》卷三〇载：江南道南州南川县萝缘山"山多楠木，堪为大船"。《本草纲目》卷三四"樟·集解"引陈藏器《本草拾遗》说："江东舸船，多用樟木。县名豫章因县得名。"李时珍云：樟木，"西南处处山谷有之"。因铁易锈，故造船一般不用铁钉，而用榫接和竹木钉等作固定连接。《岭表录异》卷上云："贾人船不用铁钉，只使桄榔须系缚，经橄榄糖泥之，糖干甚坚，入水如漆也。"

**四、天文仪器技术之发展**

此期的天文仪器一方面较好地继承了先世的优良传统，同时也有不少创新，从而把我国天文仪器技术提高到了一个更高的水平。早在隋代，耿询便制造了水运浑象，其运转时显示的天象恰与实际契合[32]。唐代天文仪器制造方面最值得注意的是李淳风和一行。

《旧唐书》卷七九"李淳风传"载："淳风幼俊爽，博涉群书，尤明天文、历算，阴阳之学。"贞观初，其上言曰："灵台候仪是魏代遗范，观其制度，疏漏实多"。于是受太宗之命新造了浑天黄道仪，"贞观七年造成，其制以铜为之，表里三重，下据准基，状如十字，末树鳌足，以张四表焉"。第一仪名曰六合仪，第二仪名曰三辰仪，第三仪名曰游仪。依《新唐书》、《旧唐书》两书"天文志"所记，此"三辰仪"是新加进来的，不但有赤道，而且有黄道和白道。李淳风巧妙地解决了一系列难题，使浑仪空前地复杂和完善起来。可惜的是此仪深受唐太宗喜爱而深锁宫禁，灵台上实际使用的依然是后魏铁浑仪。

《新唐书》卷三一"天文志"载，玄宗"又诏一行与令瓒等更铸浑天铜仪，圆天之象，具列宿赤道及周天度数。注水激轮，令其自转。一昼夜而天运周。外络二轮，缀以日月，令得运行。每天西旋一周，日东行一度，月行十三度十九分度之七。二十九转有余而日月会。三百六十五转而日周天。以木柜为地平，令仪半地下。晦明朔望，迟速有准，立木人二于地平上；其一前置鼓以候刻，至一刻则自击之；其一前置钟以候辰，至一辰亦自撞之。皆于柜中各施轮轴，钩键关鏁，交错相持"。与前代相应的仪器较之，此一方面增加了每一刻自动击鼓，每一辰自动撞钟的机构，另一方面又在浑象仪外加上了日环和月环，以显示太阳和月亮的运转。这样，浑象、太阳、月亮的运动，以及击鼓撞钟的报时机构，都由一个水





轮带动，构造上更为复杂。

### 五、走马灯及其对热力的利用

走马灯其实是一种利用热力学原理来使用空气做功的游艺性灯笼，因其能显示人物奔马之类图像而得名。从传统技术看，其基本结构是：灯笼正中竖一立轴，立轴上部卧置一个叶轮；在立轴的中部，沿水平方向纵横装上几根（多为4根）细铁丝，每根铁丝外端都贴有纸剪的人马等；在叶轮下，近立轴根部处置一灯或烛，点着后就会不断地产生出上腾的热气，借此之力就会推动叶轮回转。与此相应，纸剪人物、骏马亦随之飞奔起来。这些东西都是罩于灯笼内的，旋转时其影子就会投射到灯笼外壁上，于是就产生了许多有趣的活动画面。有的走马灯还装有一个较低的外层，其处于下部，且不会遮挡中部的影子。在此内外两层间再装上几个纸人，使其手、脚和头部都由一条或几条细铁丝通到内层；同时在内层立轴的下部又横装一条细铁丝，使之旋转时，不断地拨动外层伸入的细铁丝，外层纸人也随之产生一定的动作[33]。

我国古代走马灯至迟发明于唐，唐冯贽《云仙杂记》卷四“上元影灯”条载：“洛阳人家上元以影灯多者为上，相胜之辞曰‘千影万影’（原注：采自《影灯记》）”[34]。清陈元龙《格致镜原》卷五〇引郑处诲《明皇杂录》说：“上在东都遇正月望夜，移仗上阳宫，大陈影灯。”[34]《全唐诗》卷五四载崔液《上元夜》六首之二：“神灯佛火百轮张，刻像图形七宝装，影里如闻金口说，空中似散玉毫光。”这记载十分明确，可见唐代已有走马灯是确定无疑的。也有学者据《钦定古今图书集成》卷八〇五“影戏”条所引，认为可上推至西汉时期。但有关记载不太明确，尚难定论。原文为：“汉武帝夫人李氏死，帝思之，有齐人名少翁，能致之。夜设帐，张灯烛，帝坐他帐望之，仿佛是夫人之像，由是后世有影戏，然汉武以下无闻。”宋代之后，有关记载更多了起来。金盈之《醉翁谈录》载：上元自月初开东华门为灯市，又有“镜灯、字灯、马骑灯、凤灯”。这说的是北宋都城开封之事。南宋周密（1232～1298年）《武林旧事》卷二“灯品”载：“若沙戏影灯，马骑人物，旋转如飞。”《乾淳岁时记》载：“灯品至多，若沙戏影灯，马骑人物，旋转如飞。”这里提到的“影灯”皆有马骑人物图像，与马骑灯显然是同物而异名，皆为一种走马灯。图5－5－3为流传下来的走马灯构造图[33]。具有双层构造的走马灯中，其内层立轴上所装细铁丝便具有拨杆的作用。

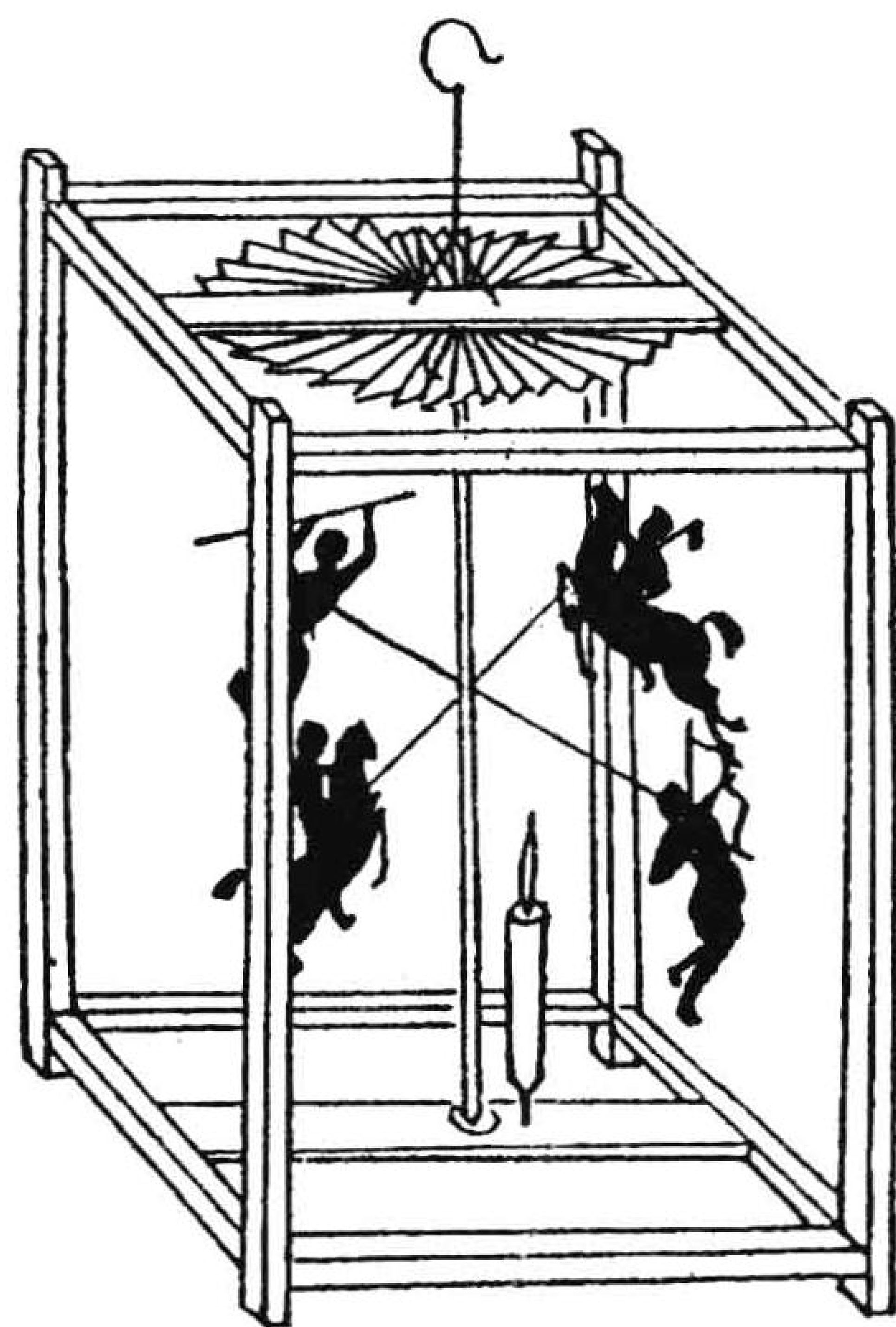


**图5－5－3 流传下来的走马灯示意图**
采自文献[33]

自动博山炉和走马灯，都是人们将热力转变为机械力的一种尝试，也是人们对热力的一种较早利用。一般认为，它们都是燃气轮机的鼻祖。但此二者仅仅是一种玩具，因无社会的需要，故长时期未能向燃汽轮机转化。将热能转变成机械

能的实用机械，我国古代一直未有出现。在欧洲，燃气轮机是1550年见于记载的。

**六、欹器、常平支架和游艺性机械**

（一）欹器

隋唐文献中依然常可看到。据云，隋代的耿询、唐代的马待封、李皋等人都曾制作过欹器，但有关记载都较简单。

《隋书》卷一九“天文志”云：“隋大业初，耿询作古欹器，以漏水注之，献于炀帝。帝善之。”

《太平广记》卷二二六“马待封”条引《纪闻》云，唐开元初，“东海马待封能穷伎巧，于是指南车、记里鼓、相风鸟等，待封皆改修，其巧踰于古”。至开元末，“与崔邑令李劲造酒山、朴满、欹器等。酒山立于盘中，其盘径四尺五寸，下有大龟承盘，机运皆在机腹内”。造“欹器二，在酒山左右，龙注酒其中。虚则欹，中则平，满则覆。则鲁庙所谓侑坐之器也”。

《新唐书》卷八〇“李皋传”：“皋尝自创意为欹器，以髹木上出五觚，下锐圆，为盂形。所容二豆（斗），少则水弱，多则蹶，中则水器力均；虽动摇，乃不覆云。”

直到宋代，关于欹器的记载仍可看到，宋燕肃、徐邈等皆曾制作；宋代之后逐渐减少。

（二）常平支架

大家较为熟悉的是被中香炉和木火通。其功用正如其名。

被中香炉。唐代的被中香炉在考古发掘和传世品中已见多枚。1963年西安东南郊沙坡村出土4枚，银质（彩版拾，1、2）[35]；1970年西安南郊何家村唐长安城兴化坊出土1枚，银质[36]；1987年陕西扶风法门寺唐代地宫出土2枚，银质[37]。另外，日本正仓院亦有收藏。

被中香炉的基本结构是：最外层为一个镂空球形外壳，中心为一个半球形的盛香灰的小盂，外壳与灰盂间有2~3层同心圆环；灰盂的径向两端皆有活动短轴，此轴支承于内环的两个径向孔洞内，令其能自由转动。同样，内环支于外环上，外环支于球形外壳的内壁上。灰盂、内环、外环，以及外壳内壁的支承轴，依次互相垂直，使其具有了三个自由度。灰盂之中焚香、盛灰，由于重力的作用，不管球形外壳如何的滚动，灰盂之口沿总是保持水平状态。

被中香炉是镂刻精细，饰纹华美的高级工艺品，通常采用满地雕的手法作装饰，粉蝶团飞，彩鸳双泳，奇葩遍地，芝草出岩。构图巧妙，栩栩如生。唐代银质被中香炉一般较小，1963年和1970年沙坡村与何家村计出土5枚，直径皆介于4.5~4.8厘米，通高皆介于4.5~5.3厘米[38]；唯法门寺的稍大，其中一件直径为12.8厘米，重547克。被中香炉多为2层内环，正仓院的一件有3层。被中香炉虽较珍贵，但在唐代已非稀罕之物，唐温庭筠《更漏子》云：“垂翠幕，结同心，侍郎熏绣衾”。五代韦庄《天仙子》云：“绣衾香冷懒重薰。”[39]其中都谈到了被中香炉。

被中香炉在我国沿用了很长一个历史时期，中国国家博物馆藏有一枚明代珍品，高12.8厘米，铜质，遍体镂空[40]。许多学者都描写过它的构造。明屠隆





(1542～1605 年)《考槃余事》卷四“起居器服笺”说其“以铜为之，花纹透漏，机环四周，而炉体常平，可置之被褥”。明代著作《留青日札》卷二二“香球”条载：“今镀金香球，如浑天仪然，其中三层关捩，轻重适均，圆转不已，置之被中，而火不复灭。其外花卉玲珑，而篆烟四出。”

木火通。《太平广记》卷二二六“技巧二·十二辰车”引唐张鷟《朝野佥载》：“则天如意（692 年）中，海州进一匠……又作木火通，铁盏盛火，辗转不翻。”此“木火通”当即取暖用的“火笼”。

（三）自动机械

其发明期至少应上推到秦代，魏晋南北朝便发展到了一定的水平，隋唐之后又有了一定发展，其中大部分是游艺性的，也有部分为实用型，见于记载的主要有如下几种：

水饰。《太平广记》卷二二六引隋人杜宝《大业拾遗记》说：水饰，“总七十二势，皆刻木为之”，有舟、山、平洲、磐石、宫殿。木人长二尺许。“杂禽兽鱼鸟，皆能运动如生，随曲水而行”。“木人奏音声、击磬、撞钟、弹筝、鼓瑟，皆得成曲。及为百戏，跳剑、舞轮、升竿、掷绳、皆如生无异”。“擎酒木人于船头伸手，遇酒，客取酒，饮讫还盃，木人受盃”。此外，《隋书》卷三三“经籍志”史部地理类载有《水饰图经》二〇卷，子部小说类载有《水饰》一卷。看来，它并非是完全虚构的。如此复杂的机械，很可能使用了比较复杂的齿轮系和其他一些传动机构、执行机构。

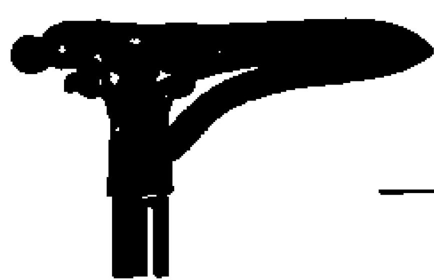
木人。唐张鷟《朝野佥载》卷六：“洛州殷文亮曾为县令，性巧，好酒。刻木为人，衣以缯彩，酌酒行觞，皆有次第。又作妓女，歌唱吹笙，皆能应节。饮不尽即木小儿不肯把，饮未竟则木妓女歌管连理催。此亦莫测其神妙也。”同书又载：“将作大匠杨务廉甚有巧思，尝于沁州市内刻木作僧。手执一椀，自能行乞。椀中钱满，关键忽发，自然作声云：‘布施’。市人竞观，欲其作声。施者日盈数千。”（《太平广记》卷二二六引载略同）

木鹤。《全唐文》卷八九七辑罗隐撰《广妖乱志》：“高骈末年，惑于神仙之说……后于道院庭中刻木为鹤，大如小驷，羁辔中设机捩，人或逼之，奋然飞动。”这是自动飞鹤。

木獭。唐张鷟《朝野佥载》卷六载：“彬州刺史王琚刻木为獭，沉于水中取鱼，引首而出。盖獭口中安饵为转关，以石縋之则沉。鱼取其饵，关即发，口合则衔鱼，石发则浮出。”这是自动捕鱼机。

马待封妆具。《太平广记》卷二二六引《纪闻》云：“开元初修法驾，东海马待封能穷技巧……又为皇后造妆具，中立镜台，台下两层，皆有门户。后将栉沐，启镜奁后，台下开门，有木妇人手执巾栉至。后取已，木人即还。至于面脂、妆粉、眉黛、髻花，应所用物，皆木人执继至，取毕即还，门户复闭。如是供给皆木人。后既妆罢，诸门皆阖，乃持去。其妆台金银彩画，木妇人衣服装饰，穷极精妙焉。”

此外，《隋书》的“何稠传”、“礼仪志”、“宇文愷传”、韩倨《迷楼记》等，都记述过一些游艺性，或者实用性自动机械；《太平广记》卷二二五至二二七转录




了许多类似资料，不再一一介绍，有些文字虽有夸张成分，但大体上还是可信的。

## 第六节 造纸技术之初步繁荣

隋唐时期，因社会长时期相对稳定，社会经济和文化都较为发展，造纸业也随之进入了初步繁荣的阶段。此时造纸技术已扩展到了我国南北许多地方，官方和民间都大量而普遍地使用起纸来，纸的品种增多，技术上也有了不少提高。

唐代产纸之所主要集中于南方州郡。据《新唐书·地理志》载，贡纸之所有江南东道的杭州、越州、衢州、婺州（均在今浙江），江南西道的宣州、歙州、池州（均在今安徽）、江州（在今江西）、衡州（在今湖南）。据《元和郡县志》载，开元时，江南东道的扬州曾经贡纸，江南西道的信州（在今江西）曾贡藤纸。《唐六典》卷二〇“右藏署令”条注说：益府贡大小黄白麻纸，杭婺衢越等州贡上细黄白状纸，均州贡大模纸，宣衢等州贡案纸次纸，蒲州贡百日油细薄白纸。《国史补》卷下说韶州产竹纸，临川产滑薄纸，宋亳间有茧纸。《新唐书》卷一〇一“肖俶传”说：“南海多榖纸，俶敕诸子缮补残书。”唐段公路《北户录》卷三说罗州（今广东廉江县北）产香皮纸。福州也产纸，《十纸说》载：“福州纸，浆捶亦能岁久。予往见于杭州俞氏《张长史恶扎禅不合为婚主》是也，入水不透”[1]。张长史为唐代书法家。可见唐代产纸之地分布很广，仅此所引便近20处，其中多属长江流域及其之南，属于北方的大约只有蒲州等处；边远的南海、罗州等处皆已产纸，一定程度上反映了唐代造纸业之兴盛[2]。

在产纸州郡中，比较值得注意的是宣州和蜀郡。上引《唐六典》卷二〇“右藏署令”条注说宣州、衢州等贡纸；又《新唐书》卷四一“地理志”说宣州土贡纸笔；《旧唐书》卷一〇五“韦坚传”说，天宝二年（743年），韦坚为唐玄宗到南方采集了大宗物品，“宣城郡船即空青石、纸、笔、黄连”。唐张彦远《历代名画记》卷二“论画体工用写”说得更为详明：“江南地润无尘，人多精艺……好事家宜置宣纸百幅，用法蜡之，以备摹写；古时好拓画，十得七八，不失神采笔踪。”此“宣纸”即是宣州纸，这是今见文献中最早提到“宣纸”的地方。说明宣纸之名在唐代便已出现，且负盛名，其已可用作书画和摹拓图画，质量已居上乘。但此唐代“宣纸”显然是纪地纸，与明代“宣纸”是不同的，后者是“宣德纸”的简称，是纪年纸。显然它们的含义是不同的[3][4]。

成都一带大约早在隋代便已产纸。元人费著《蜀笺谱》载：“双流纸出于广都，每幅方尺许，品最下，用最广，而价亦最贱。双流实无有也，而以为名，盖隋炀帝始改广都曰双流，疑纸名自隋始也，亦名小灰纸。”到了唐代，蜀纸大量运销长安供内府使用。《唐六典》卷九“集贤殿书院·知书官八人”注：“集贤所写，皆御本也。书有四部……分为四库……四库之书，两京各二本，共二万五千九百六十一卷，皆以益州麻纸写。”五代南唐时，纸墨砚都设务置官，蜀纸依然是较好的。宋陈师道《后山谈丛》卷一载：“南唐于饶置墨务，歙置砚务，扬置纸务，各有官，岁贡有数，求墨工于海，求纸工于蜀，中主好蜀纸，既得蜀工，使行境内，而六合之水与蜀同。”[5]



唐代用纸量较大。《旧唐书》卷四七“经籍志下”载：“开元时，甲乙丙丁四部书，各为一部……凡四部库书，两京各一本，共一十二万五千九百六十卷，皆以益州麻纸写。”《新唐书》卷五七“艺文志”载，太府每月给集贤院学士“蜀郡府麻纸五千番”。《唐会要》卷三五还记载了集贤院每年用纸的数字，“集贤书院奏：大中二年正月一日以后至年终，写完贮库及填缺书凡三百六十五卷，计用小麻纸一万一千七百七张”。这数字自然是不小的。唐代用纸已经十分广泛，不但公私文书、契约、各种书籍、图画大量用纸，而且日常生活也大量地使用起来。冯贽《云仙杂记》卷五“印普贤象”条载：“玄奘以回锋纸印普贤象施于四众，每岁五驮无余。”（原注：采自《僧园逸录》）

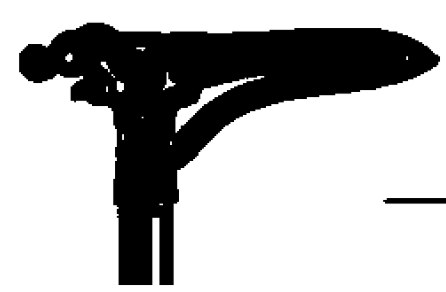
唐代官方文书用纸十分讲究。太宗贞观年间，敕文用白麻纸；后因白麻纸易蛀，高宗上元年间，尚书省颁下诸司及州县，改用了黄纸。这在宋王楙《野客丛谈》卷一、宋叶梦得《石林燕语》卷三等都有记载。《野客丛谈》曾对六朝以来诏书用纸的颜色都作了一些说明：“敕旧用白纸，唐高宗上元间，以白纸多蠹，遂改用黄；除拜将相制书用黄麻纸，其或学士制不自中书出，故独用白麻纸，所以有白麻黄麻之异也。诏，晋时多用青纸，见楚王伦太子遹等传，故刘禹锡诗曰‘优诏发青纸’。表亦用黄纸，观《前燕录》载岷山公黄纸上表。《北史》邢邵为人用表，自买黄纸写送之。因知古者，上下所书之纸，不拘如此。”[6]宋叶梦得《石林燕语》卷三载：唐中书制诏，有黄麻纸、黄藤纸和绢黄纸。“纸以麻为上，藤次之，用此为重轻之辨”。唐李肇《翰林志》载：元和（806～820年）初置书诏：“凡赦书、德音、立后、建储、大诛讨免、三公宰相命将、曰制并用白麻纸”；“凡赐与、征召、宣素、处分、曰诏用白藤纸，凡慰军旅用黄麻纸”；“凡太清宫道观荐告词文用青藤纸”；“凡诸陵荐告、上表，内道观叹道文，并用白麻纸”；“凡将相告身用金花五色绫纸”；“凡吐蕃赞普书及别录用金花五色绫纸……回纥可汗、新罗渤海王书及别录，并用金花五色绫纸”；“诸蕃军长、吐蕃宰相、回纥内外宰相、摩尼以下书及别录，并用五色麻纸”[7]。这些用纸情况，下面还要分别谈到。此用纸之不同，反映了封建社会的等级和身份，也反映了造纸技术的发展。但民间用纸还是较为随便的，不管是麻纸、藤纸、绫纸、金花纸，在非官方文书上都有使用[2]。

大约战国以降，作画一般都是用绢的，汉代依然如此，传世的唐代以前的纸本画稀如凤毛麟角，今日所见的早期纸本画多数是属于唐代的。图画用纸的出现，从另一个侧面反映了造纸技术之发展[8]。此外，隋唐五代时期民间日用品也大量地使用起纸来，有关情况下面还要谈到。

隋唐造纸技术的主要成就是在继续生产麻纸、皮纸的同时，又生产了竹纸；打浆度提高，抄纸工艺发展到娴熟的阶段，生产了大模纸，可能还发明了纸药和表面施蜡技术；纸的质量大为提高。早在六朝时期，我国造纸术便传到了朝鲜，及隋又传到了日本；大约8世纪时，中国造纸术又传到了今阿拉伯一带，对世界文化的发展作出了重要贡献。

**一、原料之扩展和竹纸的出现**

我国古代造纸用原料主要有五种：（1）麻、主要指大麻、苎麻，以及部分野





麻；（2）树皮，即楮树皮、桑树皮、青檀皮等；（3）藤皮；（4）竹；（5）麦秆和稻秆。前三种大体上属于韧皮类纤维，后两种则属茎类纤维[9]。隋唐时期，大约前四种皆已使用，一般认为麦秆和稻秆纸是宋代之后才出现的。唐代占主导地位的依然是麻纸，其次是皮纸，竹纸可能刚刚发明。

麻纸。有人分析、统计过新疆出土的隋唐及高昌时期的23件古纸，其中有麻纸至少15件，包括阿斯塔那出土的景龙四年（710年）“卜天寿《论语郑注》”用纸，同处出土的开元四年(716年）“籍账簿”用纸，吐鲁番出土的“唐花鸟画”用纸等。有皮纸6件，包括载初元年（689年）“宁和才授田户籍”用的树皮纸，开元三年（715年）“西州营名籍”用的楮皮纸等。有麻、皮混合纸1件，即麟德二年(665年）“卜老师借钱契”用纸。此外还有1件阿斯塔那所出唐“萎蕤丸”裹药纸，很可能也是麻纸[8][10]。有学者还分析过11件隋唐五代的敦煌石室写经纸，其中有麻纸7件，包括贞观四年（630年）“四分戒本（一卷）”用纸、五代“佛说无量寿经”用纸等；有皮纸4件，包括隋开皇二十年（600年）“护国般若波罗密经（卷下）”用的楮皮纸[8][11]等。可见麻在唐代造纸原料中所占比例是很大的。四川是当时全国造纸业的一个中心，由前可知，其所产也主要是麻纸。宋苏易简《文房四谱》卷四亦云:“蜀中多以麻为纸。”

皮纸。即树皮纸，约发明于东汉，但在东汉六朝遗物中所见甚鲜，今在新疆和敦煌所见古代树皮纸都是隋唐之后的。有人分析过8件晋代、十六国时期的新疆古纸[12][9]，以及10件十六国、南北朝时期的敦煌石室写经纸[11]，清一色都是麻纸。皮纸在前述新疆出土的隋代古纸、唐代敦煌写经纸中分别占26%和36%，充分说明了唐代皮纸之发展。从考古实物的科学分析看，这些隋唐皮纸主要是楮皮纸和桑皮纸，有关文献记载说明了这一点。前引《新唐书》卷一〇一“肖做传”说“南海多穀纸”，此“穀”纸即楮皮纸。宋《文房四谱》卷四云:“北土以桑皮为纸。”此外，文献上还谈到过香皮纸、芙蓉皮纸等。唐段公路《北户录》卷三载:“香皮纸，罗州多栈香树，身如（柜）巨柳，其华繁白，其叶似橘皮，堪捣纸，土人号为香皮纸。作灰白色，文如鱼子笺。今罗辨州皆用之。”[13]此“香树”实即沉香树。唐刘恂《岭表录异》云:“罗州多栈香，如柜柳，其花白而繁，皮堪作纸，名为香皮纸；灰白色，有文如鱼子笺，其理慢。”[14]此说的是香皮纸。明宋应星《天工开物》第十二“杀青·造皮纸”条载，唐代四川所产“薛涛笺，亦芙蓉皮为料……其美在色，不在质料也”。这是说芙蓉皮纸。陈大川说:“芙蓉在台湾生长甚速，春初插枝，经夏即发长枝，长过六尺，径愈半寸，秋花后即可伐枝取皮供用，笔者试种多株，试制皮纸亦佳，为可推广之原料。”[15]有关研究认为，宣纸在明代以前，是纯用青檀皮为原料的，清代曾采用过“全皮”、“半皮”、“七皮三草”等不同的原料配比[9]。

藤皮纸。始于晋，唐代便达到了极盛的阶段，前引《新唐书》、《翰林志》等都记述过朝廷使用藤纸的情况；除剡溪外，婺州，以及余杭的由拳在唐时也生产藤皮纸。《元和郡县志》卷二七“婺州”载，元和时，婺州贡“白藤细纸”[16]。贺次君校《元和郡县图志》卷二五载，余杭县“由拳山，晋隐士郭文举所居，傍有由拳村，出好藤纸”[17]。但因藤的生长周期较长，资源有限，唐后渐渐减少下来。



《全唐文》卷七二七舒元兴《悲剡溪古藤文》便是这情况的一种写照；其云："剡溪上四五百里，多古藤……遂问溪上人，有道者言，溪中多纸工，刀斧斩伐无时……历见言书文者，皆以剡纸相夸。"杨慎《升庵外集》卷一九载："敲冰纸，剡所出也。张伯玉《蓬莱阁》诗'敲冰呈好手，丝素竞交（姣）鸾'注：越俗，竞夸敲冰纸。剡水清洁，山又多藤楮，以敲冰时制之佳，盖冬水也。"[18]故藤纸的盛行时间主要是晋到唐时，较为短暂。

竹纸。如前所云，曾有人认为我国古代竹纸发明于东晋[19]，但并无确凿的资料。及唐，这资料就十分明确了。其始约见于今广东韶关一带，至迟唐代晚期，浙江也生产了竹纸。李肇《国史补》卷下载："纸则有……韶之竹笺。"李肇系唐代中期人，元和（806～820年）时曾为翰林学士。唐人段公路《北户录》在说到广东罗州沉香皮纸时，曾说它"不及桑根、竹莫（膜）纸"，10世纪的崔龟图注"竹模纸"说"睦州出之"[13]。睦州在今浙江淳安县西。这是广东在唐代中期，浙江在唐代晚期生产了竹纸之证。因竹茎结构紧密，化学成分较为复杂，纤维僵硬，打浆帚化较为困难，制浆条件要求较高，故竹纸的出现，也说明了造纸工艺之发展。

关于草纸。如前所云，有学者认为草纸发明于南朝时期，但并无确凿的依据。今又有学者认为它是唐代出现的。主要依据是：（1）明罗欣《物原·文原》第九载："唐王屿以竹及草为纸。"王屿在玄宗时任祠祭使。（2）唐元稹（799～831年）《奉和浙西大夫李德裕述梦四十韵》云："麦纸侵红点，蓝灯焰碧青。"[20]前一条文献说得较为明确，但惜为孤证，罗欣为明代之人，不知他有何依据。第二句中的"麦纸"，今有人说它是麦秆所造[21]，但这种解释与作者原意不符。元稹自注"麦纸"云："书诏皆用麦文纸。"[20]可知"麦纸"即是用作"书诏"，带有麦文的精良加工纸。故唐代是否有了草纸，眼下尚嫌资料不足。

**二、抄纸和后期处理技术的进步**

（一）抄纸技术的进步

由敦煌石室写经用纸的考察情况看，十六国至五代，各时期的纸质是不尽相同的；隋唐最佳，十六国至北朝次之，五代最差。有学者考察过22件此期写经纸，其中属于唐代中期的计8件，打浆度一般较高，纤维分散度较大，交织紧密均匀，一般都经过了碱液蒸煮处理，可知它们都是经过了充分舂捣的，漂洗的时间和次数亦有增加。如开元六年（718年）《无上秘要卷第五十一》用纸，原料为树皮，纸色黄，为细横竹纹，纤维细长，交结均匀，表面平滑，曾经打蜡。又如初唐《法华经》用纸，麻质，色黄，细横帘纹，纤维打浆较好，平均长度为0.8～1.0毫米，交结匀细，曾经打蜡，表面平滑，半透明，为上等纸。属十六国至南北朝的计10件，质量稍次。晚唐至五代的计4件，纸质较为粗糙，如五代《佛说无量寿经》纸，是为本色纸，粗横纹，打浆不匀，有透光，稍厚。又如晚唐《一切智清净经》纸，泛黄，粗横纹，厚薄不均，有筋头，酒红色反应。[11][22]

值得一提的是，《唐六典》卷二〇还说到过"均州之大模纸"，此"模"当指纸模，"大模纸"即是大幅纸、大型帘床所抄的纸。它的出现也说明了唐代抄纸技术的发展。五代也有一种大幅纸。宋苏易简《文房四谱》卷四"纸谱·杂说"载：

"江南伪主李氏常较举人毕，放榜日给会府纸一张。可长二丈，阔一丈（按："四库"本作'二丈'），厚如缯帛数重，令书合格人姓名。每纸出，则缝掖者相庆，有望于成名也，仆顷使江表，睹今坏楼之上，犹存千数幅。"此李氏当指南唐之李氏。明张应文《清秘藏·论纸》亦曾提到此事，说："李后主有会府纸，长二丈，阔一丈，厚如缯帛数重"。宋代之后，此工艺有了进一步发展。如此长阔厚重之纸，自然不能在普通纸槽中捞得。

有鉴于纸药在造纸工艺中的重要性，长时期来一直受到学术界的关注。有学者认为它发明于汉[23]，但无确凿依据。奥地利人威斯纳（J. Wisner）曾分析过我国新疆、甘肃出土的唐纸，发现大历三年（768 年）、建中三年（782 年）、贞元二年（786 年），以及贞元三年等纪年文书用纸中都含有淀粉和地衣，如此推定，此地衣便是最早的纸药。此说当有一定道理，但与我国传统纸药还有一段相当的距离。

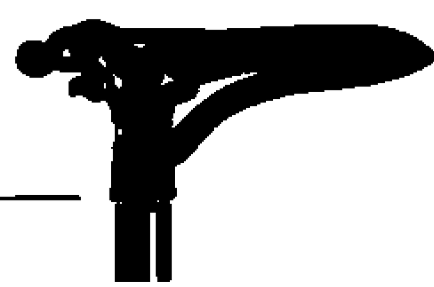
（二）后期处理技术

后期处理主要指纸张成型后的表面处理，包括捶打、施胶、填粉、研光、加蜡，以及染色等。前几项操作的目的主要是阻塞纸面纤维间的部分毛细孔，使表面更为致密、平滑、光洁，运笔时不致走墨晕染；染色的目的是增加艺术效果；加蜡可增加纸的光泽并起到防蛀的作用。唐人把纸区分为"生"、"熟"两种，捞出后未经加工者为"生"，加工者为"熟"。宋人邵博《闻见后录》卷二八说："唐人有熟纸，有生纸，熟纸所谓妍妙辉光者，其法不一；生纸非有丧事故不用。"唐张彦远《历代名画记》卷三"论装背褾轴"在谈到名画的装背时说："勿以熟纸，背必皱起，宜用白滑漫薄大幅生纸。"[24]为调整纸的抗水性，使纸的表面平滑、运笔流利、易于着墨，皆须将生纸加工成熟纸；有时为了便于保存和其他特殊需要，也要进行一些不同的加工。下面主要介绍一下捶打、施胶、染色、涂蜡等项加工。

捶打。基本操作是把部分待加工的纸用掺有某些植物粘汁的水浸润，之后用木锤捶打，使其结构更为紧密、细致、光滑，以便于书写。有关记载约始见于唐，宋后便较多地使用起来。

北宋米芾《十纸说》载[1]："六合纸，自晋已用，乃蔡侯渔网遗制也。网，麻也。因用木皮。油拳不浆，湿则硾；能如浆，然不耐久，唐人以浆硾。六合慢麻纸，书经明透，岁久水濡不入。"① 可见唐代已有捶打工艺，既浆且捶，便能达到岁久水濡不入的效果。此"浆"的具体含义不明，很可能是淀粉糊剂处理。宋米芾《书史》载："唐人背右军帖，皆硾熟软纸，如绵乃不损古纸。"[25]同书在谈到唐《争坐位帖》时说："《争坐位帖》是唐畿县狱状硾熟纸，韩退之（朝愈）以用生纸录文，为不敏也。生纸当是草书所用。"[26]米芾《十纸说》载："福州纸，浆捶亦能岁久。"[1]这都谈到了捶熟加工。米芾本人亦曾督槌纸以学书作诗。《御定渊鉴类函》卷二〇五载："米芾硾越竹短截作轴，日学书作诗。诗曰：'越�万杵如金版，

① 油拳，又作由拳。一种藤纸、纪地纸。乾隆元年《浙江通志》（第五十三册，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 229 碟）卷一〇一"物产·杭州府"载："藤纸，《元和郡县志》：余杭县由拳村出好藤纸。"



安用杭油与池茧；高压巴郡乌丝栏，平欺泽国清华练；老无他物适心目，天使残年向笔研。'”此说越纸经碓打加工后，胜过其他许多名纸。同卷还载有谢陈适“用惠纸诗”，其中也谈到了碓纸工艺：“蛮溪切藤卷盈百，侧理羞滑茧羞白；想当鸣杵砧面平，桄榔叶风溪水碧”[27]。说藤纸经碓打加工后，质量得到较大改善，既不像侧理纸那样显得不太光滑，亦不像茧纸那样显得不太白。

关于捶纸的具体操作，未见唐人细说，明代项元汴《蕉窗九录》“纸录·造捶白纸法”曾有详细说明：“法取黄葵花根捣汁，每水一大盌，入汁一、二匙，搅匀，用此令纸不粘而滑也。如根汁用多，则反粘不妙。用纸十幅，将上一幅刷湿，又加干纸十幅，累至百幅无碍，纸厚以七、八张相隔，薄则多用不妨。用厚板石压纸，过一宿，揭起俱润透矣。湿则晾干，否则平铺石上，用打纸槌敲千余下。揭开晒十分干，再叠压一宿，又捶千余槌，令发光与蜡笺相似方妙。余尝制之，甚佳。但跋涉耳”。这里详述了捶纸的全过程。可见这是一种捶、压相结合的工艺，捶打时需一幅“湿”纸，10 幅干纸相间放置；需两次用巨石叠压，两次木槌捶打；时间为两天两夜。浸润剂是稀释了的黄蜀葵一类植物浆液，相当于所谓“纸药”。此虽为明人记述，对我们了解唐代捶纸工艺还是很有帮助的。依此，我们并不能排除唐代捶纸过程中使用了纸药的可能性。从历史上看，纸药当有两种用法：一是掺入纸浆中，以作悬浮剂、防粘剂；二是捶纸时作为浸润剂，主要是防粘及增强。纸药的发明和推广，在造纸技术史上是具有重要意义的事件。有关情况宋代部分还要谈到。

施胶。从晋纸至隋唐纸的考察情况看，此“胶”多数是一种淀粉剂。具体操作是将它掺入到纸浆中，或刷于纸张表面。如敦煌唐代《波罗密多经》用纸，是将淀粉掺于纸浆中的，因试剂着色故，其组织间存在一种蓝色的淀粉颗粒[11][22]。阿斯塔那所出唐代“中医汤药方”用纸、吐鲁番所出唐末“回纥文写经”用纸[10][28]，都是将浆糊刷在表面上。据说唐代著名的𫓧纸也涂了浆糊。明代《正字通·虫部》云：“唐人以浆糊纸，使莹滑，名曰𫓧纸。”有关情况后面还要谈到。这种淀粉剂的优点是不走墨，缺点是时间过长时，会龟裂脱落下来，故也有的使用动物（或植物）胶来代替。北宋米芾（1051～1107 年）《十纸说》云：“川麻（纸）不浆，以胶作黄纸，唐诏敕所以有白麻之别是也。”[1][29]宋代以后，纸上施胶矾的技术更加普遍起来。

染色。此技术始于东汉，兴于六朝，隋唐五代仍然十分盛行。唐代对公文用纸的颜色曾有过明确规定，前引李肇《翰林志》云：“凡慰军旅用黄麻纸”，“凡诸陵荐告、上表，内道观叹道文，并用白麻纸”等。在众多色纸中，黄纸是使用得最广的，敦煌石室唐人写经几乎全都是黄纸。书法家亦用黄纸。清人李调元《诸家藏书簿》卷三说，唐代欧阳询草书《孝经》、五代杨凝式小字一幅，皆系黄麻纸，皆他亲眼所见。其他色纸亦颇受唐人青睐。值得指出的是，部分色纸，尤其是部分黄纸，是具有防蛀作用的。《事物纪原》卷二载：“唐高宗上元三年（676 年），以制敕施行，既为永式，用白纸多为虫蛀，自今以后，尚书省颁下诸州诸县并用黄纸，敕用黄纸自高宗始也。”[30]这便强调了黄纸的防蛀作用。

涂蜡。此操作当在成纸后进行。习见有黄纸涂蜡、白纸涂蜡、粉纸涂蜡等种。

黄纸涂蜡，是先染后涂。唐代又称之为“黄硬”或“硬黄”。到了宋代，涂蜡纸便成了优质、名贵纸张之一。唐张彦远《历代名画记》卷二（947 年）载：“好事家宜置宣纸百幅，用法蜡之，以备摹写（原注：顾恺之有摹搨妙法）古时好搨画，十得七八不失神采笔踪，亦有御府搨本。”[31]同书卷三在谈到书画装潢时说：“汧国公家背书画入少蜡，要在密润，此法得宜（原注：赵国公李吉甫家云：背书要黄硬。余家有数帖黄硬，书都不堪）。”[24]米芾《十纸说》载：“唐硬黄摹书，皆令冷金向明榻也。”[1][29]这都谈到了涂蜡工艺。在今见古纸中，敦煌石室写经《无上秘要卷第五十二》（开元六年）纸等皆属“硬黄”[22]。硬黄纸的特点是味苦、气香、色美、质地坚密，具有防水防蛀的性能。

也有学者把加浆染黄，用以写经之纸称为“硬黄”的。宋赵希鹄《洞天清录集·古翰墨真辨》载：“硬黄纸，唐人用以书经，染以黄蘗，取其辟蠹。以其纸加浆泽，莹而滑，故善书者。”明代项元汴《蕉窗九录》也有类似的说法：“唐纸，有硬黄纸，唐人以黄蘗染之，取其辟蠹，其质如浆，光泽莹滑，用以书经。”谁是真“硬黄”，今日已难分辨，或许古人便曾把染黄涂蜡作画和加浆染黄写字，皆称作了“硬黄”也未可知。但赵希鹄把“硬黄纸”与写经纸混为一谈，却是值得商榷的。宋董逌《广川书跋》卷六“硬黄”条说：“硬黄，唐人本用以摹书，唐又自有书经纸，此虽相近，实则不同。惟硬厚者，知非经纸也。”[32]同书卷十“为邵仲参书宝章集”又说：“以树木皮作纸，名穀纸。至蘗汁涅染，点治槌装，则当经纸。”

关于“硬黄”的具体操作，宋张世南《游宧纪闻》卷五“辨博书画古器”条曾有记载：“硬黄谓置纸热熨斗上，以黄蜡涂匀，俨如枕角，毫厘必见”。

白纸施蜡的目的与黄硬纸大体相同，故宫博物院所藏旧题唐吴彩鸾写《刊谬补缺切韵卷》是经过了双面加蜡、砑光处理的，属白蜡纸。在宋元时代，黄、白蜡笺都十分盛行。

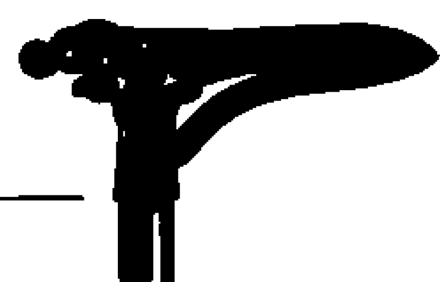
粉蜡。包括施粉和涂蜡两道工序，它是南北朝的填粉纸工艺与唐代涂蜡纸工艺相结合而产生出来的。米芾《书史》载：“唐中书令褚遂良《枯木赋》是粉蜡纸榻。”“智永《千文》，唐粉蜡纸榻。”具体操作可能是先将白色矿物细粉涂于纸表，之后再涂蜡，从而兼收了粉纸与蜡纸两种工艺的优点。

（三）关于唐纸的厚度和帘纹

厚度和帘纹，是考察造纸技术的两个重要参数。经测定，敦煌唐代石室写经纸厚一般为 0.05～0.44 毫米[22]，充分说明唐纸的打浆度较高，纸浆较为均匀且具有较高的抄纸技术。甚至十六七世纪时，欧洲生产的一些纸也不能与之相比。从整个写经纸看，晋后多有帘纹，晋、十六国、南北朝以及五代的帘纹较粗，每纹约 1.5～2.0 毫米；隋唐纸的帘纹一般较细，其纸帘很可能是细竹条编成[10]。隋唐五代抄纸器绝大部分是使用活动帘床纸模，唯纸帘有粗细之别[33]。由布纹到粗帘纹，由粗帘纹到细帘纹，都是造纸技术发展的一个个印迹。

**三、纸品种之增多**

由于加工技术之进步和需求量之增加，隋唐五代纸的品种明显增多，且出现了不少名贵加工纸。依原料分类，其品种有麻纸、皮纸、藤纸、竹纸等；依产地分类，又有宣纸、蜀纸等；依用途分类，又有茶衫子纸、笺纸，以及日常生活用



纸和汇票等；依色彩加工工艺，则更有许多品名。唐李肇《国史补》卷下采用一种综合分类法，列举了当时天下名纸，说："纸则有越之剡藤、苔笺，蜀之麻面、屑末、滑石、金花、长麻、鱼子、十色笺，扬之六合笺，韶之竹笺，蒲之白薄重抄，临川之滑薄；又宋亳间有织成界道绢素，谓之乌丝栏、朱丝栏；又有茧纸"。[34]可见尤以四川名纸为多。该书成于穆宗（821～824年在位）之后，这大体反映了穆宗及其之前的一些情况。有的种类上文已经提到，不再重复，下面仅对其他影响较大的几种作一简单介绍。

水纹纸。又名花帘纸、砑花纸。基本特点是在透光处看时，能显示出除去帘纹外的多种纹理、艺术图案或文字；当平置，非透光情况下观看时，图案和文字便隐而不现，给人一种潜在的美感，奇妙无穷。唐代有一种蠲纸，也是水纹纸。明杨慎（1488～1559年）《丹铅总录》卷一五"字学类·蠲字音义"条云："唐世有蠲纸，一名衍波笺，盖纸文如水文也。"[35]水纹纸工艺可能有二[33]：（1）自然薄浆法。即在纸帘上编织出水纹或其他图案，令其稍凸出帘面，抄纸时此处浆薄而纹理透明发亮。较为明确的记载尚未看到。从传统工艺看，此法应当是存在的。杨慎《升庵外集》卷一九谈到过一种唐蠲纸工艺，但未明确说到其是否有产生过水纹："唐人有蠲纸，以浆粉之属，使之莹滑，蠲之为言洁也"[18]。（2）压力薄纸法。即用雕有水纹或其他图案的模子压于未曾完全定形的纸面上。苏易简《文房四谱·纸谱》说："遂幅于方版之上砑之，则隐起花木麟鸾，千状万态。"陶谷（903～970年）《清异录》卷下"研光小本"条载："姚顗子侄善造五色笺，光紧精华，砑纸板乃沉香木刻山水、林木、折枝花果、狮凤、虫鱼、八仙、钟鼎文，幅幅不同，文绣奇细，号砑小本。"

在此顺带谈一下"蠲纸"的问题，其约始于唐，五代及宋都甚为流行。它有两重含义，一方面是某种上等加工纸，如施胶纸、浆粉纸等，另一方面还是一种纸户"免本身力役"之纸。宋周辉《清波别志》载："唐有蠲府纸，凡造纸户，免本身力役，故以蠲名。"[36]又，《新五代史》卷五六"何泽传"也有类似说法："五代之际，民苦于兵，往往因亲疾以割股，或既丧而割乳庐墓，以规免州县赋役。户部岁给蠲符，不可胜数，而课州县出纸，号为'蠲纸'。泽上书言其敝，明宗下诏悉废户部蠲纸"。此说蠲纸是户部向州县摊派的纸，州县贡此纸后，便可领到豁除赋役的证书。今有学者认为，将一些不同类型的纸都称为"蠲纸"，是宋、明文献将之混淆了之故。其实并非如此。"蠲"的含义是较广的，上述涂粉、施胶、水纹、"免本身力役"，都未超出"蠲"字范围。《宋本玉篇》载："蠲，虫也，明也，除也，又疾也。"《丹铅总录》卷一五"字学类·蠲字音义"："《说文》：蠲，马蠲也，从虫，引'明堂'、'月令'，腐草为蠲。明也、洗也、洁也、除也。"[35]显然，前云涂布淀粉纸、水纹纸，大体上都可归为"明也、洗也、洁也"的范围；而造纸之人得以豁除力役，便是"除也"之义。另外，这些名称亦无矛盾处，免除力役之纸，可包括各种不同的工艺，施胶、水纹等都可包含其中的。

薛涛笺。薛涛，唐代成都女诗人，常以一种特制的红色小笺与当代名士元稹、

白居易、杜牧、刘禹锡等相唱和，故这种红色小彩笺又有薛涛笺之称①。北宋苏易简《文房四谱》“纸谱”云:“元和（806～820年）之初，薛涛尚斯色，而好制小诗，惜其幅大，不欲长之，乃命匠人狭小为之。蜀中才子既以为便，后裁诸笺亦如是，特名曰薛涛笺。”元费著《蜀笺谱》:“薛涛本长安良家女，父郧，因官寓蜀而卒；母孀养涛，及笄以诗闻外，又能扫眉涂粉，与士族不侔。”“涛出入幕府。”“其间与之和唱者，元稹、白居易……皆名士，凡二十人，竞有酬和。涛侨止百花潭，躬撰深红小彩笺。”可见这是一种别具特色的红色粉笺。

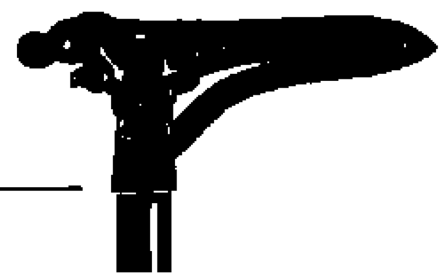
十色笺。如前所云，早在晋代便出现了“五色纸”，南朝便出现了“五色华笺”之说。此十色笺当是在简单色纸、简单色笺基础上发展起来的，其中尤以蜀地十色笺最负盛名，这在前引唐《国史补》中已经提及；但《成都古今记》说得更为详细，其云:“十样蛮笺曰深红、曰粉红、曰杏红、曰明黄、曰深青、曰浅青、曰深绿、曰浅绿、曰铜绿、曰浅云”[37]。韩浦（928～1007年）《寄弟洎蜀笺》也曾提及:“十样蛮笺出益州，寄来新自浣溪头，老兄得此全无用，助尔添修五凤楼。”[38]此“十样蛮笺”的作者不详，亦不知是否与薛涛有关。关于十色笺的制作工艺，宋《文房四谱》卷四“纸谱”曾有涉及，其云:“蜀人造十色笺，凡十幅为一榻，每幅之尾必以竹夹夹和十色水，逐榻以染，当染之际，弃置椎理，堆盈左右不胜，其委顿逮干，则光彩相宜不可名也。然逐幅于方版之上砑之，则隐起花木麟鸾，千状万态”。这对我们了解江南，及至后世他处十色笺也是有一定帮助的。

鱼子笺。纸面之纹鳞鳞若霜粒，如鱼子者。唐陆龟蒙《袭美以鱼笺见寄因谢成篇》诗云:“捣成霜粒细鳞鳞，知作豪吟幸见分；向日乍惊新茧色，临风时辨白萍文；如将花下承金粉，堪送天边咏碧云；见倚小窗亲襞染，画图春色见夫君。”[39]北宋苏易简《文房四谱》卷四“纸谱”曾谈到过这种鱼子笺工艺：“以细布先以面浆胶令劲挺，隐出其文者，谓之鱼子笺，又谓之罗笺。今剡溪亦有焉。”由这段记载可知，此所谓“鱼子笺”，应是以细布令其隐出纹者。前云罗州香皮纸，苏易简所云剡溪纸，唐蜀地鱼子笺等都带有鱼子纹。历史上最负盛名的大约是蜀郡鱼子笺。

流沙笺等。《文房四谱》卷四“纸谱”在谈到了唐鱼子笺后接着又说:“亦有作败面糊和以五色，以纸曳过令露濡，流离可爱，谓之流沙笺。亦有煮皂荚子膏，并巴豆油傅于水面，能点墨或丹青于上，以姜揾之则散，以狸须拂头垢引之则聚。然后画之为人物，砑之为云霞及鸷鸟鸽羽之状，繁缛可爱。以纸布其上而受采焉。必须虚窗幽室，明盘净水，澄神虑而制之，则臻其妙也。”

金花笺。即粘附了金、银末（片）之笺，唐李肇《翰林志》说:“凡将相告身，用金花五色绫笺。”北宋米芾《书史》说:“王羲之《王润帖》，是唐人冷金上双钩摹。”

① 《格致镜原》卷三七“文具·纸”:“《南部新书》：唐元和初，蜀妓薛涛好制小诗，惜其幅大，不欲长賸，乃狭小之，人以为便，云薛涛笺。”（文渊阁《钦定四库全书》本）。今世学者一般亦认为：薛涛并不曾造纸，她的主要贡献是令匠人将大幅纸切成适合诗笺使用的窄幅纸，并将之染成了桃红小笺（荣元恺:《唐代薛涛笺的再探讨和补遗》，《纸史研究》第13期，1995年）。



此外，《通俗编》卷一二提到的唐“十四种金”中的“销金”，亦是一种加金笺，后世又谓之“洒金笺”。宋陆游《老学庵笔记》五：“绍兴中，有贵人好为俳谐体诗及笺启。诗云：‘绿树带云山罨画，斜阳入蜀地销金。’”

澄心堂纸。“澄心堂”原为南唐烈祖李昪节度金陵时，燕居、读书和阅览奏章之所；后主时，令工匠生产名贵纸，以供宫中使用，名为“澄心堂纸”。这些纸造成后，在长达半个世纪的时期内，一直深藏宫中，北宋时期才被世人了解和重视。宋程大昌《演繁露》卷九“澄心堂纸”条载：“江南李后主造澄心堂纸，前辈甚贵之，江南平后六十年，其纸尤有存者。欧公尝得之，以二轴赠梅圣俞，梅诗铺叙其由而谢之曰：‘江南李氏有国日，百金不许市一枚；当时国破何所有，帑藏空竭生莠苔。但有图书及此纸，弃置大屋墙角堆；狭幅不堪作诏命，聊备粗使供鸾台。’用梅诗以想其制，必是纸製大佳，而幅度低狭，不能与麻纸相及，故曰‘狭幅不堪作诏命’也。”① 据说欧阳修（字永叔）曾从刘敞处得到过十枚，并分赠梅尧臣。梅尧臣在《宛陵集》卷七“永叔寄澄心堂纸二幅”中对此纸质量曾作过很好的描述：“昨朝人自东郡来，古纸两轴缄縢开。滑如春冰密如茧，把玩惊喜心徘徊。蜀笺脆蠹不禁久，剡楮薄慢还可咍。书言寄去当宝惜，慎勿乱与人剪裁。江南李氏有国日，百金不许市一枚。澄心堂中唯此物，静几铺写无尘埃。”可见澄心堂纸是滑如春冰、细如密茧，坚牢胜蜀笺，质地赛剡楮，价值百金的名纸。在宋代，名公们皆争而用之。

对于澄心堂纸的原料、工艺和产地，因其密而不传，故后人有过多种不同说法，其中一种认为其产于今安徽南部的歙州地区，是采用“寒溪浸楮”、“破冰举帘”之法生产出来的。宋人蔡襄《文房四说》云：“李（后）主澄心堂为第一，其为出江南池、歙二郡，今世不复作精品，蜀笺不堪久，自余皆非佳物也。”这里谈到了澄心堂纸的原料（楮皮）、产地（江南池、歙二郡）和质量（“第一”）。梅尧臣《宛陵集》卷二七“答宋学士次道寄澄心堂纸百幅”诗云：“寒溪浸楮舂夜月，敲冰举帘匀割脂。焙干坚滑若铺玉，一幅百钱曾不疑。”此前两句谈到了澄心堂纸的生产季节；“敲冰举帘匀割脂”是一道十分重要的技术措施，其意在改善纸浆的悬浮效果[33]，纸药在较低的温度条件下，效果尤佳。此“舂夜月”的具体含义不明，但至少说明了人们对舂捣的注意，这对于提高打浆度是很有帮助的。

匮纸。这是一种特殊加工用纸，后世又谓之乌金纸，锤打金箔时，用之作为间隔，以防互相粘合。清查慎行《得树楼杂钞》载：“南唐升元（937～943年）之帖，以匮纸摹搨……匮纸者，打金箔之纸也。”如若此说可靠的话，其发明期当可上推到唐代[40]。

飞钱。即后世之汇票，始见于唐。《新唐书》卷五四“食货志”载：“宪宗以钱少，复禁用铜器，时商贾至京师，委钱诸道进奏院及诸军、诸使，富家以轻装趋四方，合券乃取之，号飞钱。京兆尹裴武请禁，与商贾飞钱者，廋索诸坊，十人为保。”此“飞钱”，宋代之后皆认为其即是纸质，且为纸币的前身。“进奏院”，

① “用梅诗以想其制，必是纸製大佳”。这里又使用了一个繁体字，也是着实无奈。如若将“製”字简化成了“制”，显然，理解起来就要费一番周折。

约相当于各地住京办事处。此“飞钱”便是我国，也是世界上最早的汇票，在中国经济史、世界经济史上都具有重要的意义。因飞票对纸质要求较高，故它的出现，也从一个侧面说明了造纸技术的发展。

隋唐五代时期，生活用纸的范围更加扩展，大家较为熟悉的有名片、纸灯笼、剪纸、卫生纸、纸伞、纸风筝、纸衣、纸被、纸甲、纸帐、纸钱、窗户纸，以及纸棺等，今仅列举名片等数项。

名片。人们自我介绍的一种小型文书。它在造纸技术发明之前便已出现，其始谓之名刺，纸发明后又谓之名纸、门状、名帖、名片。汉刘熙《释名》卷六载：“书称刺，书以笔，刺纸简之上也……画（书）姓名于奏上曰画（书）刺。”宋孔平仲（约1042～1120年）《谈苑》载：“古者未有纸，削竹木以书姓名，故谓之[名]刺，后以纸书，故谓之‘名纸’。唐李德裕为相，极其贵盛，人之加礼，改具衔候起居之状，谓之门状。”[41]这种门状在唐宋时代已相当流行。

纸衣。其中主要是禅衣。元和（806～820年）进士殷尧藩《赠惟俨师》诗云：“云锁木龛聊息影，雪香纸袄不生尘；谈禅早续灯无尽，护法重编论有神。”[42]这其中便说到了纸禅衣。

纸被。有关记载至迟见于唐末五代时期。唐末五代人徐寅曾有《纸被》诗，其云：“文采鸳鸯罢合欢，细柔轻缀好鱼笺。一床明月盖归梦，数尺白云笼冷眠。披对劲风温胜酒，拥听寒雨暖于绵。赤眉豪客见皆笑，却问儒生值几钱。”[43]这种纸被大约宋代还可看到，陆游曾作有《谢朱元晦寄纸被》诗，其中有云：“纸被围身度雪天，白于狐腋软如绵”[44]。宋代过后，随着棉花技术的兴起，纸被渐少。

纸甲。《新唐书》卷一一三“徐商传”载：宣宗时，徐商领兵与突厥战，“置备征军凡千人，襞纸为铠，劲矢不能洞”。这是说纸甲的。

纸风筝。发明于南北朝时期，唐五代时有了进一步发展。如五代吴越罗隐《寒食日早出城东》诗云：“向谁夸丽景？只是叹流年。不得高飞便，回头望纸鸢。”[45]

纸钱，即明纸，或叫“冥纸”。唐封演《封氏闻见记》卷六“纸钱”条载：“纸乃后汉蔡伦所造，其纸钱，魏晋以来始有其事，今自王公逮于匹庶通行之矣。”[46]

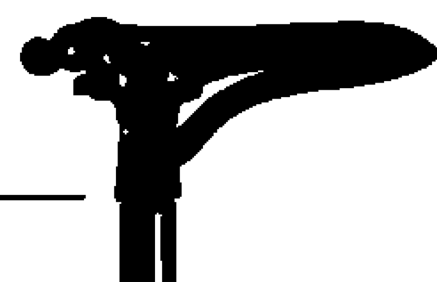
窗户纸。唐冯贽在《云仙杂记》（901年成书）卷二引《凤池编》云：“杨炎（729～781年）在中书，后阁糊窗用桃花纸，涂以冰油，取其明甚。”这是糊窗用纸之例。

纸棺。1973年，新疆阿斯塔那506号墓出土了一件纸棺，长2.3米、前高0.87米、宽0.68米，后高0.5米、宽0.466米。以木杆为骨架，糊以故纸，表面涂红，无底。伴出物有大历四年（768年）《张天价买地券》等。纸棺所用故纸多为天宝十二至十四年（753～755年）间一些马料收支账[12]。这是纸棺之例。

**四、造纸技术的外传、**

从现有资料看，隋或稍早，我国造纸技术便传到了朝鲜，隋时，便经朝鲜传到了日本，唐代又传到了阿拉伯世界。

据《日本书纪》卷二二“推古天王”载：推古天皇十八年（610年），“春三



月，高丽王贡上僧昙征法定，昙征知五经，且能造彩色及纸墨，并造碾硙，盖造碾硙始于是时欤?"《旧事本纪》又载:"（圣德）太子与昙征造纸，召三韩纸用之。今昙征所制纸……不甚经久，乃太子制楮纸……又植楮于诸邑，以造纸法教国县人。"圣德太子因提倡造纸，故在日本被尊为"纸圣"、"纸祖"。推古天王十八年即隋大业六年（610 年），造纸技术便由朝鲜传到了日本，故其传至朝鲜的时间当在此之前。

至迟 8 世纪初，造纸术便传到了中亚。1933 年，原苏联塔吉克共和国的穆格山（在撒马尔汗正东约 120 公里）粟特古城遗址曾发现过唐中宗神龙二年（706 年）的中国文书残纸，其是有"交城守促使"、"大斗守促使"、"伍调"等字语[47]。

8 世纪中期，造纸术又传到了阿拉伯世界。据《新唐书》卷五"玄宗纪"载：天宝十年（751 年）七月，"高仙芝及大食，战于恒逻斯城（今吉尔吉斯境内），败绩"。在这次战争中，唐朝许多士兵被俘，其中便包括了造纸等手工业工人。当时杜佑的侄子杜环也在这次战争中被俘到了大食，回国后写了一本名为《经行纪》的书，杜佑《通典》曾不止一次地提到过此事。其卷一九一"西戎总序"载:"族子环随镇西节度使高仙芝西征，天宝十载至西海。宝应初因贾商船舶至广州而回，著《经行纪》。"[48]其卷一九三"大食"条引杜环《经行纪》云：大食的"绫绢机杼、金银匠、画匠，（皆）汉匠起作。画者京兆人樊淑、刘泚，织络者河东人乐隈、吕礼"[49]。此未提到造纸术，最早明确提到中国造纸术及其西传的人是 10 世纪的阿拉伯学者比鲁尼（Al - Biruni，973 ~ 1048 年），其云:"初次造纸是在中国"。"中国的战俘把造纸法输入撒马尔罕。从那以后，许多地方都造起纸来，以满足当时存在着的需要"[50]。撒马尔汗当在唐时称为康国，751 年为大食占领。于是造纸术传至阿拉伯世界，并较快地传到了非洲。

## 第七节　雕版印刷的兴起

雕版印刷虽南朝便已出现，但使用未广；及唐代，随着整个社会经济、文化的发展，而迅速兴起，整个书籍生产和文化事业皆焕然一新。印刷术的发明和推广，是人类文化史上的重大事件，它为优秀文化的保存和传播，起到了十分重要的作用。

本节主要介绍隋唐五代雕版印刷的兴起过程，以及我国古代书写、印刷用墨发明发展的简单情况。

### 一、隋代雕版印刷的显露

不管南朝还是隋代，雕版印刷的实物皆迄今未见。隋代值得一提的是，有关雕版印刷之事在有关文献中再次显露出来。

隋费长房《历代三宝记》卷一二载:"开皇十三年十二月八日，隋皇帝佛弟子姓名，敬白……作民父母，思拯黎元，重显尊容，再崇神化，颓基毁迹，更事庄严。废像遗经，悉令雕撰。"[1]该书同时还提到过"毁像残经"、"毁废经像"、"奉庆经像，日十万人，香汤浴像"等事。其中最值得注意的是"悉令雕撰"一语，

明清两代，都有学者认为其指佛经雕刻言；今人柳毅等支持这一观点，并认为此“雕撰”，可释为“既雕塑佛像又雕刻佛像、经书印刷”[2]。也有学者认为“雕撰”系指雕塑佛像言，“不会是佛经雕撰”[3][4]。我们比较倾向于前一说法。

**二、唐代雕版印刷的兴起**

从现有资料看，我国古代雕板印刷约兴起于唐代早、中期，唐代晚期之后便在全国范围逐渐推广开来。这既有多起考古实物，也有大量文献记载为证。

（一）唐代雕版印刷的考古实物

今见于报道的唐代印刷制品有10多件，分属唐代早、中、晚期，其中相当部分属佛教的经、咒，只有少数为日用历书。它们分别是：

1．1906年新疆吐鲁番出土的《妙法莲花经》残本，现存文字194行。其始归新疆布政使王树楠（1851～1936年），后转日本人江藤涛雄、中村不折。中村氏原将其定为隋代，1952年时，目录学家长泽规矩也发现其中有武周制字，遂定之为武周刊本[5]，其刊印时间当不会晚于695～699年。也有学者认为制字不能作为断代的唯一标准，后世也有使用制字的，制字只能说它不早于武周时期[6]。

2．1966年韩国东南部庆州佛国寺释迦塔内发现的汉文印本《无垢净光大陀罗尼经》，1卷。其长约630厘米、宽6厘米、版心高5.5厘米，桑皮纸印成；用12块木板印成后粘接而成，每块约20～21英寸；出土时缠在一段两端髹漆的竹轴上。墨迹清晰，字体秀丽。其中有4个武则天的“制字”：证、撰、地、初，它们先后计出现过9次[7][8]。1979年之后，中国学者方了解到此事，并进行了许多研究。从制字看，其当武周时期（684～704年）印成；也有人认为是长安四年至天宝十一年间（704～752年）印成。虽出土于韩国，应是唐代印本[6]~[12]。

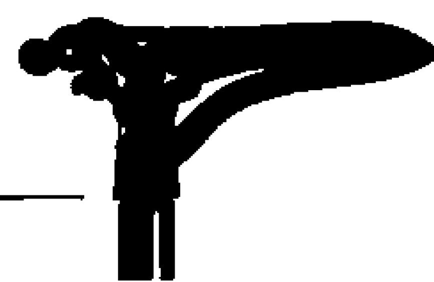
3．1974年西安柴油机厂出土的梵文本陀罗尼经咒，1件。印本近于正方形，长27厘米、宽26厘米，纸质粗糙，字的行距疏密不一，有的字迹不甚清楚。出土时装在一个铜腭托中，原报道说其伴出物有规矩四神镜一枚，并依此将其定为唐代初期，即7世纪初叶[12]。但也有学者认为其出土地层不明，规矩四神镜未必是其伴出之物，从而将其年代定到了756～845年之间[6]。

4．1967年西安造纸网厂（原名西安铜网厂）古墓铜管内发现的梵文印本陀罗尼经咒，1件。经咒印画为一长方形的单页纸，长32.3～32.7厘米、宽28.1～28.3厘米，纸质发黄，韧性较好，纸面有明显的帘纹，帘纹宽约1毫米。纸的纤维较长，表面有明显的胶质层，纸质接近于楮皮纸。因无伴随物出土，经咒上亦无年代题记，有学者依据画面和经文推测，推定其属唐玄宗时期的印刷品[13]。

5．1975年西安冶金机械厂出土的汉文印本陀罗尼经咒，1件，正方形，边长35厘米，纸面光滑致密，印文娴熟流畅，字迹清晰。原断代为盛唐时期[14]，后有学者将其改定为756～845年之间[6]。

6．“文化大革命”期间，安徽阜阳唐代中晚期墓出土的梵文印本《陀罗尼经咒》，半幅，伴出物有白瓷碗、盘[15]。

7．1944年，成都唐墓出土的印本《陀罗尼经咒》，1件，用唐代名茧纸印刷，纸薄而透明，韧性较好，其上印有菩萨像和数行梵文经咒，并署有汉字“成都府成都县□龙池坊□□□近卞□□印卖咒本”等字样[16]。笔画秀挺圆润。据鉴



定，当系850年以后印刷，今藏中国国家博物馆。

8. 1953年，浙江龙泉县在拆毁一座古塔时发现一些古代经卷，其中一卷为《妙法莲华经》，字大如钱，欧体，经鉴定为晚唐刻本[2][17]。

9. 1974年，西安市郊晚唐墓出土《陀罗尼咒》印本一张，约50厘米见方，印制风格与成都的相仿，应同为唐代晚期之物[3][4]。

10. 1907年，斯坦因（M. A. Stein）在甘肃敦煌石室藏经洞内发现的大量佛经写本和雕版印刷品。其中较值得注意的有咸通九年(868年)《金刚般若波罗密经》(简称“金刚经”）印本等。“金刚经”其首尾完整，全长约一丈六尺，高约一尺，由六块长方形木板刻成，后印在六张纸上。卷后署有“咸通九年（868）四月十五日王玠为二亲敬造普施”。刀法纯熟、雕刻精美，字体浑朴，刚劲凝重，图文并茂，画面神态生动，字迹清晰，墨迹浓淡相宜（图版拾叁，5)，可知当时雕版印刷已发展到了较高水平。此经卷为斯坦因盗去，现存英国不列颠博物馆，这是今见带有确切纪年的最早印刷品。

11. 不列颠博物馆还藏有敦煌石室出土的僖宗乾符四年（877年）历书残页，其中除记载了节气、月份大小，以及日期外，还杂有阴阳五行和凶吉禁忌，与宋、元、明、清历书的风格比较接近。

12. 敦煌还出土有中和二年（882年）历书，其已残破不堪，其上署有“剑南西川成都府樊赏家历”等字。这两起是全世界今见最早的印版书本和最早的历书。

以上是12件（批）唐代的印刷制品。此外还有一些，不再列举。其中可能属于唐早期的3件，即两件带武周制字的佛经和1件梵文陀罗尼经咒。虽学术界对其断代提出过一些不同观点，但要否定其原断代，尤其是有武周制字者，亦非易事。纪年印刷品计3件，即咸通九年“金刚经”、乾符四年历书、中和二年历书，皆属唐代晚期。其中有的是书籍类，有的虽较单薄，但印数较大。这些佛教经、咒和历书的印制，都是唐代各时期雕版印刷兴起的重要物证。

（二）唐代雕版印刷的文献记载

这方面的资料较多，在唐代早、中、晚各期文献中都可看到，今依时间顺序略举数例如下：

属于唐代早期的主要是佛事印刷品，较值得注意的有如下3段：

后唐冯贽《云仙散录》(926年）卷五引《僧圆逸录》云:“玄奘以回峰纸印普贤像，施于四众，每岁五驮无余。”说此普贤像是印制的，虽可能为单张印刷，但每岁五驮，印数较大。据《旧唐书》卷一九一“僧玄奘传”载，玄奘“贞观九年(645年）归至京师，太宗见之大悦”。其印刷普贤像的时间当在回国后，去世前，即645~664年之间。属唐代早期。

天台宗将《华严经》一部八会别为前后二个部分，认为前部分“七会”是佛成道后在前三个七日之间的说法，后部分“第八会”为此后的说法。法藏不同意此说，其《华严经探玄记》卷二载:“此经定是[佛成道后]第七日所说……于此二七之时，即摄八会同时而说。若尔，何故会有前后？答：如印文，读时前后，印纸同时。”[18]显然，这是用印刷术为喻，来说明佛祖成道后，其法已在心中，说

法虽有先后，却无前后之分。此书纸成于696～697年，亦属唐代早期。既以印刷术为誉，可知此术流布已广。

法藏在另一著作《华严一乘教义分齐章》卷一也有类似的说法："一切佛法并于第二七日，一时前后说，前后一时说。如世间印法，读文则句义前后，印之，则同时显现。"[19]其成书年代约与前书相当，亦属唐代早期。

此外，有学者认为太宗长孙皇后所撰《女则》也是雕版印刷的，清代江陵人郑机（约卒于光绪六年前）和今人张秀民都支持过这一观点。其主要依据是明代史学家邵经邦（1491～1585年）《弘简录》卷四六中的一段文字：长孙氏既崩，"上为之恸，及宫司上其所撰《女则》十篇，采古妇人善事……帝览而嘉叹，以后此书足垂后代，令梓行之"。从社会和技术背景看，贞观时期"梓行"过《女则》是可能的，但可惜在唐代文献，如《旧唐书》、《新唐书》等中，都找不到"梓行"二字的证据。胡适博士认为，"梓行"二字是明人无心之话，"这一句十六世纪的无心之误，绝不是七世纪的证据"[20]。可以进一步研究。

唐代中期与印刷有关的记载不是太多，较值得注意的是"印纸"，它是商人纳税的一种凭据[20]。《旧唐书》卷四九载，德宗建中四年（783年），户部侍郎赵赞为解脱经济困境，提出了两种增税法。其中一法为："除陌法，天下公私给与、货易率一贯旧算二十，益加算为五十。给与他物，或两换者，约钱为率算之，市牙（衙）各给印纸，人有买卖，随自署记，翌日合算之。"稍后，元和初还发行过飞钱，前节已经提到。

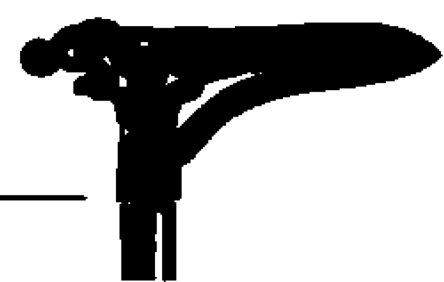
唐代晚期，印刷品种类向多样化发展，文字类工具书、相宅、历书、文学作品等都大量刊行起来。

《元氏长庆集》卷五一载，长庆四年（824年）时，元稹给友人白居易《诗集》作序说："二十年间禁省观寺，邮侯墙壁之上无不书；王公妾妇，牛童马走之口无不道。至于缮写模勒，衒卖于市井，或持之以交酒茗者，处处皆是。（原注：扬越间多作书模勒乐天及予（余）杂诗，卖于市肆之中也。）"[21]这说明唐代晚期，扬越间到处都有白居易和元稹的杂诗印刷本出售。"勒"即雕刻；《隋书·史岁万传》："于是勒石颂美隋德。"这是印刷文学作品之例证。

《全唐文》卷六四载，太和九年（835年）冯宿上奏，请求禁止私刻日历，"准敕，禁断印历日版。剑南、两川及淮南道皆以版印历日鬻于市。每岁司天台未奏颁下新历，其印历已满天下，有乖敬授之道"。这是私印日历之例，可见其数量之多，地域之广。

咸通年间范摅《云溪友议》卷下"羡门远"条说：纥干泉（又作㚖）"及镇江右，乃大延方术之士，乃作《刘弘传》，雕印数千本，以寄中朝及四海精心烧炼之者"[22]。纥干泉曾于大中元年（847年）至三年任江南西道观察使，印刷《刘弘传》之事，应在其任期之内，这是关于道家印书的较早记载。

宋王谠《唐语林》卷七载："僖宗入蜀，太史历本不及江东，而市有印货者，每差互朔晦。货者各征节候，因争执。"说明当时历法印制作坊较多，往往出现差错而互相争执。此"僖宗入蜀"系黄巢起义攻克长安后，僖宗于中和元年（881年）流亡成都事。



敦煌石室所出唐写经《新集备急灸经》卷末题:"京中李家于东市印。"由此可知，此石室写本是照着印本抄录的。其背面有咸通二年（861 年）写的阴阳书，三年写的神灵药方；印本的时间当在此前[23]。

《旧五代史》卷四三"明宗纪"，原注引(柳玭)《柳氏家训序》说:"中和三年(883 年）癸卯夏，銮舆在蜀之三年也，余为中书舍人。旬休，阅书于重城之东南，其书多阴阳杂说、占梦、相宅、九宫五纬之流，又有字书、小学，率雕板印纸，浸染不可尽晓"。柳玭系唐代书法家柳仲郢之子，他随僖宗逃到成都，此述系他亲眼所见，可知当时成都东南的杂书等类皆是雕板印刷的。

有关文献还有不少，不再一一列出。可知从唐代早期到晚期，实物资料和文献资料，都是逐渐增多的，这大体反映了印刷术兴起的基本历程。印刷术的发源地目前尚难确定，唯知唐代晚期时，剑南、两川、淮南、扬州、越州、江南西道、长安等地都已开版印刷。其中又以今四川一带最为发达，仅成都一地，有据可查的便有樊家、卞家、过家三个商号，皆为私营作坊；前二者上文已经提及，与过家书坊有关的资料国家图书馆原有收藏[24]。京中印刷业也较发展，仅东市便有李家、大刁家两个商号。从部分实物和文献记载看，早期雕版主要是印刷一些佛像和有关经书，之后才用到了日历和文学作品上。唐代晚期，官方和私人都在印书，除前面提到者外，还有《日光旧疏》等大型书籍。《金刚经》等的印刷质量，一些大型书籍的出版，都说明雕版印刷在唐代晚期已发展到了较高水平。

**三、五代雕版印刷的发展**

五代时期，虽国家四分五裂，战乱纷纷，但却是我国古代印刷术发展的重要阶段。主要特点是：（1）在唐代基础上，一些地区的印刷技术有了进一步发展；吴越一带逐渐形成了几个新的印刷基地；唐代中期发展起来的益州印刷亦有了一定发展。（2）开创了朝廷主持出版儒家经典的历史，从而极大地推动了整个印刷术和文化事业的发展。（3）佛教印刷异常兴盛，私营印刷也有了较大发展。

在朝廷主持的儒家经典出版活动中，较早且规模较大的是冯道刻九经。《五代会要》卷八载：后唐长兴三年（932 年），宰相冯道奏"请依石经文字，刻九经印板"。先将西京石经本"抄写注出，仔细看读，然后雇召能雕字匠人，各部随秩(又作帙）刻印板，广颁天下，如诸色人要写经书，并须依所印敕本，不得更使杂本交错"。此事为宋元学者广为引用，并认为雕版印刷源于冯道①。其实自非如此，冯道是大量刻印经书的第一人，而不是雕版印刷之始。冯道奏刻九经的目的，与蔡邕刻石经是一样的，皆系为读书人提供一个标准文本。后汉干佑元年（948 年），五经成，于是又奏请继续雕造《周礼》、《仪礼》、《公羊》、《谷梁》四经。后周广顺三年（953 年）②，"九经成，进印板、九经书、《五经文字》、《九经字样》各二部，一百三十册"。前后花了 22 年时间。同书同卷又载，后周世宗显德二年（955

① 王祯《农书》卷二二"造活字印书法":"五代唐明宗长兴二年（多作长兴三年），宰相冯道、李愚请令判国子监田敏校正九经，刻板印卖，朝廷从之，锓梓之法，其本于此。"

② 《丛书集成初编》本《五代会要》作"周广顺六年六月"，查《中国历史年代简表》，"广顺"这个年号只用到"三年"，即 953 年；954 年为显德元年。《旧五代史》卷四三作"广顺三年丁巳板成"。今从《旧五代史》，"九经"刻成时间为 953 年。

年)，中书门下奏，又校刻《经典释文》三〇卷。

五代十国的佛教印刷亦非常兴盛。虽唐代末年佛教曾一度受到摧残，但有的号令并未执行；五代十国时期，由于统治者的提倡，佛教迅速地复兴起来。佛经印发量亦相当的惊人，尤其是吴越一带。今举数例考古实物如下：

1917年，浙江湖州天宁寺经幢中发现了《一切如来心秘密全身舍利宝箧印陀罗尼经》数卷，卷首扉画前有“天下都元帅，吴越国王钱弘俶印《宝箧印经》八万四千卷，在宝塔内供养，显德三年丙辰（956年）岁记”字样，每行八九字，经文共338行。

1924年杭州雷峰塔（吴越王妃黄氏所建）倒塌，后在其中发现一部《宝箧印经》，经首印有“天下兵马大元帅，吴越国王钱俶造此经八万四千卷，舍入西关砖塔，永充供养。乙亥八月日记”。经高7.0厘米，长2.0米，经文271行，每行10~11个字。此“乙亥”年，实际上已是北宋开宝八年（975年）。

1971年，安徽无为县宋代舍利塔下砖墓小木棺内，发现五代后周显德三年（956年）吴越国王钱弘俶印《宝箧陀罗尼经》一卷[25]。无为县原非吴越版图，可见钱氏印经流行之广。

1971年绍兴出土金涂塔一座，内藏佛经一卷，每行11~12字，卷首印“吴越国王钱俶造《宝箧印经》八万四千卷，永充供养，时乙丑（965年）岁记”。扉页画面明朗秀美，经文清晰悦目，纸质洁白，墨色精良；千年如新，甚为罕见[26]。如宋本之佳椠。

私营印刷业此时亦得到了进一步发展。其中既有宗教书籍，也有文学书籍。如《道德经广圣义》(30卷)，这是我国第一部道家经典，为道士杜光庭编撰，唐灭亡后第二年，前蜀任知玄自出俸钱，雇赁良工，为之雕版，五年（909~913年）乃成。又如，后蜀宰相毋昭裔少时贫寒，向人借书遭到拒绝，当即立下誓言，异日若贵，当板以镂之，以遗学者。后，入后蜀为相，在成都私资雇工雕印《文选》、《初学记》、《白氏六帖》[27]。又如后周文学家和凝、须昌（今山东东平县人），擅长短歌艳曲，有集百卷，曾自行印了数百帙送人[28]，开文学家自行出版之先河。

五代印书坊的分布亦比唐代有所扩展，前后蜀、吴越、南唐等的印刷业都是较为发达的；南唐李氏曾梓行过刘知几《史通》，及《玉台新咏》等[29]；成都、江宁、浙江、汴梁、沙州（在今甘肃)、青州（在今山东）等地都已印书。四川仍是其中比较发达之所。

过去人们常说五代印刷技术水平不高，其实并非如此。在短短20年内，吴越印经三次，每次皆84 000卷，可见印书量之巨，销售量之大。如此儒家经典和佛、道两家经书皆广为流传开来。

**四、雕版印刷的工艺操作**

文献上关于雕版印刷操作技术的记载，有如凤毛麟角，甚为鲜见。从传统技术调查来看，基本步骤当是：(1）写版。将文稿写于稿纸上。(2）贴版。将写好的文稿反贴到用作雕刻的木板上，并稍施力，令其平实。这样，文字和图像便反向地转移到了木板上。(3）雕版。令刻字工依贴稿字样刻出反向的凸字、凸版来。



(4) 定版。即将印版朝上，并固定于台面。(5) 施墨、印刷。先在印版表面均匀刷墨，后覆以用于印刷的白纸，再用干净的刷子轻轻刷过，揭下后便完成一张纸的印刷。如此者不断操作，百卷巨著可成。

**五、关于铜版印刷的发明**

先秦至汉的图文复制工具中，计有木质、泥质（或半陶质）、金属质等种，所以在人们发明出木质雕版印刷的同时，自然要联想到金属雕版，首先是铜雕版的。我国古代铜版印刷发明于何时，学术界尚无定论，迄今主要有“唐代”说、“五代”说等种。

唐代说是清叶昌炽首先提出的，其《语石》卷九在谈到反文书范时说：“宋熙宁八年君山铁锅，及唐开元《心经》铜范、蜀刻韩文书范，亦皆用反文”[30]。今有学者认为此铜范“是直接用以印刷《心经》的雕版铜版”，若依此说，铜版印刷便早在唐开元间便已发明[31]。

五代说的主要依据有二，一是宋岳珂在自刻《九经三传沿革例》中曾说：“家塾所藏：唐石刻本、（后）晋天福（936～943 年）铜版本”[32]。二是清朱彝尊《经义考》卷二九三引明人杨守陈说：“魏太和有《石经》，晋天福有铜版《九经》，皆可纸墨摹印，无庸笔写”[33]。此也说到了晋铜版，并将之与魏石经并举，皆可摹印。

从技术上看，我国在唐代和五代发明出铜版印刷都是可能的，尤其是五代，上述资料都说得十分明白，只不过铜版使用较少罢了。

**六、关于网版印刷的起源**

传统印刷技术大体上可区分为平、凸、凹、孔四大类；丝网版、誊写版，便可归于孔版印刷范围。因丝网印刷在近代使用较多，故其始于何时，颇受世人关注，国内外都有学者对它进行过一些探索性研究，迄今尚无一致结论。

有学者认为，孔版印刷最为原始的表现形式是纺织物的型版印花[34]。型版印花约起源于春秋战国时期，前云江西贵溪崖墓的春秋印花布便是其最早的例证[34][35]；汉至北朝有了进一步发展，这在北朝夹缬型版的发展中便得到了证明[36][37]；及唐，便开始了向网版印花的过渡，大家较为熟悉的例子便是前云吐鲁番出土的唐代印花布[34]。凡印花清晰者，其圆圈均不闭合，这是镂空印花版的特有现象；尤其是那些小圆圈的直径不过 3 毫米，圈内圆点仅 1 毫米左右，一般花版是难达此种程度的，当系一种特殊的纸版刻镂而成。它可能是在镂空处保持了连接点，然后以生丝和粘附材料加固[38]。这种型版的创新，便为后代的纸型印花和绢网印花打下了初步的基础[39]。我们基本上同意这一看法，但这种丝网印花，只可视为丝网印刷的前身，它还不是丝网印刷，亦不宜直接地将这种印花当成了印刷；我国真正的丝网印刷始于何时，还有待考古实物的证实。

**七、我国古代制墨技术的发明和发展**

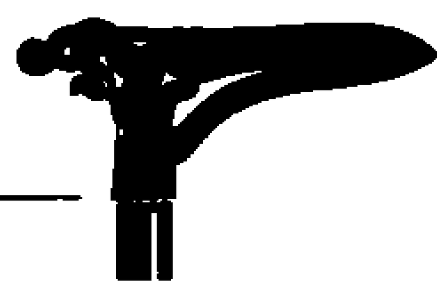
墨是印刷和书写的基本材料之一。纸、笔、墨、砚，在我国古代一直被人们誉之为“文房四宝”，对我国古代文化的保存和传播，都起到了重要的作用。今主要介绍一下墨的问题。

（一）关于墨的发明和初步发展

我国古代之“墨”发明于何时，学术界尚无一致看法。从考古发掘看，人们使用黑色颜料的时间至少可上推到仰韶文化时期，前面提到的彩陶便是最好的例证。但炭质黑色颜料大体上是到了商代才看到的，美国纽约大学一位教授曾分析过殷墟出土的甲骨片，认为其黑色颜料是炭黑。在考古资料中，书写用墨约始见于西周早期；1964～1966年，洛阳北窑发掘348座西周墓，见有7件以墨书字的器物[40][41]，其中有铜簋、铜戈、铅戈、戟等，分别写于器物的底部或援的背面，皆属西周早期。如“白懋父”簋，底部墨书“白懋父”三字。“白”同伯，“懋”或作髦，当即康叔之子康伯髦，此器年代为周初康王（公元前1078～前1054年）时期[42]。“史矢”戈，援的背面墨书“史矢”二字。“尧”戈，援的背面墨书“尧”字。“封氏”戈，援的背面墨书“封氏”二字[43]。这是迄今所见最早的墨书器物。可知书写用墨的发明期当在西周早期之前。1965～1966年，山西侯马秦村盟誓遗址出土玉、石质的朱书盟书和墨书诅辞5 000余件，其中较为完整且可辨认者约600余件，断代春秋[44]，这是今见春秋盟书中较大的一宗。早期书写用墨很可能是液态的，因其不便于携带和保存，之后才为块状墨代替。今在考古发掘中所见最早的固体墨块属战国时期。江陵九店战国墓M56出土1个墨盒（M56:13－2），内装墨一大块数小块，大块近方形，长2.1厘米、宽1.3厘米、厚0.9厘米，断代战国晚期前段，这是我国今见最早的墨。1975年湖北云梦睡虎地战国末年墓出土1块（M4:12），其色纯黑，圆柱状，圆径2.1厘米，残高1.2厘米；伴出的还有布满墨痕的石砚、写满墨字的木牍等，其年代当在战国末年的秦统一六国前[45]。元陶宗仪《辍耕录》卷二九认为，至魏晋时始有墨丸①，显然与史有差距[46][47]。

文献上关于用墨的记载约可上推到夏代以前。《书·虞书·舜典》载：“五刑有服。”孔氏注：“五刑，墨、劓、剕、宫、大辟。服，从也，言得轻重之中正。”此说五刑用墨。舜约相当于夏代之前的早期部落联盟的一个盟主。若依此，铜石并用时代末期便有了墨刑，便有了墨。之后，《书·商书·伊训》载：“臣下不匡，其刑墨。”孔氏注云：“臣不正君，服墨刑；凿其额，涅以墨。”孔颖达疏：“臣无贵贱，当匡正君也。”这也是关于墨刑的记载。此说当属可信。看来，商代，及至更早的年代便有了墨刑，便有了墨。当然，原始墨的成分和制作工艺与后世未必完全相同。周代之后，有关记载更多，且更为明确。《周礼·地官·占人》云：“史占墨。”郑氏注：“墨兆广也。”贾公彦疏：“墨纵横，其形体象以金木水火土也。凡卜，欲作龟之时，灼龟之四足，依四时而灼之。”《礼记·玉藻》云：“史定墨。”孔颜达疏：“凡卜，必以墨画龟，求其吉兆。”这都说到了周人以墨占卜的情况。《韩诗外传》卷七：“赵简子有臣曰周舍，立于门下三日三夜。简子使问之曰：子欲见寡人何事？

① 元陶宗仪《辍耕录》卷二九云：“上古无墨，竹挺点漆而书；中古方以石磨汁，或云是延安石液；至魏晋时始有墨丸，乃漆烟、松煤夹和为之。所以晋从多用凹心砚者，欲磨墨贮沛耳。自后有螺子墨，亦墨丸之遗制。”此观点在学术界影响较大，许多人都曾引用。今细究之，多数不太严格。如“点漆而书”便较难置信，漆带粘性，是很难真正用于书写的。“以石磨汁”，亦不严格。所谓“延安石液”，实是石油燃烧的烟黑。说“魏晋时始有墨丸”，则与考古实物相左。





周舍对曰：愿为谔谔之臣，墨笔操牍，从君之过而日有记也，月有成也，岁有效也。”此说到了用墨。《考工记》所云宫廷作坊的三十个工种中，有一个“画绘之工”，这自然是要用墨的。《庄子》外篇“田子方第二十一”载：“宋元君将画图，众史皆至，受揖而立，舐笔和墨，在外者半。”和，调和。宋元君即宋元公，公元前531～前516年在位。此说宋元君请国师用笔墨画国中山川地土图样之事。这说明周代用墨已经较为普遍。

汉代之后，随着经济文化的发展，以及造纸技术的发明，墨的使用亦更加广泛。1973年，山西浑源毕村西汉墓出土了墨丸及带有墨迹的石砚；墨丸略呈半圆锥体形，石砚呈长方形和圆形的板状[48]。同年，湖北江陵凤凰山文帝前元十三年(公元前167年)墓出土有毛笔及带有墨迹的石砚[49]；1983年广州象岗西汉墓出土圆饼状固体墨4 385枚，墓主人为南越王赵昧（约公元前162～前122年）[50]。1953年，河北望都西汉墓墓室的一幅壁画中，见有砚台和墨锭的形象[51]。1955年，河南陕县刘家渠44座东汉墓出土5件墨，其中3件保存较好，手捏而成，皆呈圆柱形，直径1.6～2.4厘米、高1.8～3.3厘米，有使用过的痕迹[52]。另外，南京老虎山3座晋墓出土两块墨[53]。此时关于墨的文献记载更多了起来。《说文解字》云：“墨，书墨也。从土、黑。”蔡质《汉官仪》：“尚书令仆丞郎，月赐渝糜大墨一枚、小墨一枚。”[54][55]此“渝糜”，又作“隃麋”，地名，汉置隃麋县，属右扶风，故地在今陕西千阳县。应劭《汉官仪》亦有同样的记载①。《东观汉记》云：“和熹邓后即位，方国贡献悉禁绝，惟岁供纸墨而已。”[54]《后汉书》卷三六“百官志”：守宫令“主御纸笔墨及尚书财用诸物及封泥”。尚书右丞“假署印绶及纸笔墨诸财用库藏”。《宋书》卷三九“百官志”也有类似说法：“尚书令仆而丞郎，月赐赤管大笔一双，隃麋墨一丸。”敦煌所出六朝写经，千数百年如新，墨光如漆。

（二）关于早期制墨工艺

早期书写用墨的制作工艺，今已难得详知。一般认为，战国两汉当由炭黑和胶两种材料配制；至迟东汉三国时期，便开始向墨中加入添加剂，并逐渐形成了一套较为复杂的工艺。添加剂的作用主要是防腐、助色、益香、润湿、调节酸碱度、增加稳定性等。魏晋南北朝、宋代、明代，都曾对我国古代制墨技术作出过较大贡献。

中国墨的主要呈色物质和基本成分是炭墨，古人习谓之“烟”或“煤”，它是由含碳物质，主要是碳氢化合物在供氧不足的条件下，作不完全燃烧而得到的一种质轻、粒细、疏松的黑色粉末。人们对制墨所用炭黑的基本性能要求：一是粒细；二是色黑。这两个指标都直接受到炭黑原料的影响。我国古代生产炭黑的原料主要有两大类：（1）树木，主要是松木（以及松香）、桦木等；虽所有树木大体皆可制墨，但有高下之别。（2）油脂，主要是桐油、石油、猪油、麻子油、苏子

---

① 文渊阁《钦定四库全书》收有汉卫宏《汉官旧仪》；《续修四库全书》746册（上海古籍出版社）收有应劭《汉官仪》二卷，汉蔡质《汉官典籍仪式选用》一卷，汉卫宏《汉官旧仪》二卷补遗二卷。蔡质书之正名当如《续修四库全书》收云。

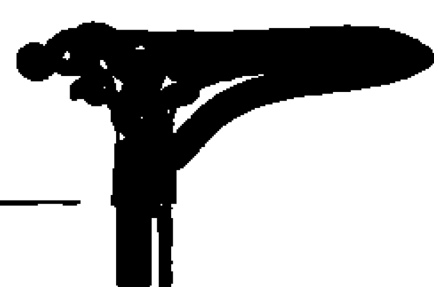
油、豆油、皂青油等矿物和动植物的油类。汉唐最为推崇松木，而且，历代都有自己选择的最佳松木。曹植（192～232年）《乐府》诗云："墨出青松烟，笔出狡兔翰；古人感鸟迹，文字有改判。"[61]其中便明确地说到了墨出青松烟。唐《墨薮》卷二"王逸少笔势图第十四"载："墨取庐山之松烟，代郡之鹿角胶，十年以上强如石者，纸取东阳鱼卵虚柔滑净者。"宋代晁季一《墨经》（约1100年）在谈到历代制墨用松时说："汉贵扶风隃麋终南山之松……晋贵九江卢山之松……唐则易州、潞州之松，上党松心尤见贵。唐后则宣州黄山、歙州黟山松、罗山之松。"李诩《戒庵老人漫笔》卷七"笔墨"条载："古墨以上党松心为烟，以代郡鹿角胶煎为膏而和之，其坚如石。"[56]用松制墨的优点，乃因其含有大量松脂，即松香和松节油；不但能做成优质炭黑，且可使墨具有一种天然的清香。

制墨的另一种重要原料是胶，主要是动物胶，作粘合剂用。早在先秦时期，我国就掌握了一套提取多种动物胶的工艺，并区分了它们的不同性能。《考工记·弓人为弓》条在谈到制弓用胶的选择时说："凡相胶，欲朱色而昔，昔也者，深瑕而泽，紾而抟廉。鹿胶青白，马胶赤白，牛胶火赤，鼠胶黑，鱼胶饵，犀胶黄，凡昵之类不能方。"此前五句谈到了选择胶的一些基本条件，即颜色深红而光润，且纹理粗糙者为良胶，其次六句谈到了六种动物胶的颜色，最后一句说其他胶皆不能与此六种相比。昵，亲昵，粘性。方，比拟，比较。关于胶的制法，《周易参同契》说是"皮革煮为胶"。

以炭黑和胶制墨，这是较为原始的操作。东汉三国或稍前，便逐渐形成了一套较为规范的工艺，其具体演变情况今已不得而知。今日所见较早的一个制墨工艺是三国韦仲将墨法，北宋苏易简《文房四谱》卷五"墨谱·之造"载："韦仲将'墨法'曰：今之墨法以好醇松烟干捣，以细绢篵于缸中，篵去草芥，此物至轻，不宜露篵，虑飞散也。烟一斤已上，好胶五两，浸梣皮汁中。梣皮即江南石檀木皮也，其皮入水绿色，又解胶并益墨色；可下去黄鸡子白五枚，亦以真珠一两、麝香半两，皆别治细篵都合调下。"[57]篵，筛。韦仲将，名韦诞，三国魏人，善书法，善制墨。仲将墨早负盛名①，肖子良《答王僧虔书》云："仲将之墨，一点如漆。"[58]《三国志·魏志》有"韦诞传"。此仲将墨制法虽是先世流传下来，其中有的文字好像是苏易简注，但基本内容当属可信，且多家都有记述②。其基本组分是醇烟和胶，另有添加剂梣皮、鸡蛋白、"真珠"、麝香，计为6种。此"醇烟"即纯净的烟黑。梣，即秦皮，既解胶，又益墨色；秦皮汁原呈黄碧色，但稍带蓝色萤光，使墨在黑中泛青；又具有抑菌作用。蛋白原是一种胶体，可提高牛胶和炭黑的浸润性，并增强炭黑与胶分散体的稳定性。"真珠"，即朱砂末。宋李孝美《墨谱法式》卷下云："本草：'丹砂'作末名真珠。陶隐居云：'真珠即今朱砂也。''珠'字恐是传写之缪。"[59]朱砂（HgS），可杀菌，且助色。麝香为上等香

① 元陆友《墨史》云："洛阳、许、邺三都宫观始就，诏令诞题署，以求永制 给御笔墨皆不任用，因奏蔡邕，自矜能书，兼斯喜之法，非纨素不妄下笔。夫欲善其事，必利其器，若用张芝笔，左伯纸，及臣墨，兼此三具，又得臣手，然后可以逞径丈之势方寸千言。"[60]

② 宋李孝美《墨谱法式》卷下载："仲将墨：醇烟一斤以上，以胶五两浸梣皮汁中，不可下鸡子白，去黄五颗，亦以朱砂一两、麝香一两，别治细筛都合稠。"[59]这也是6种组分。其中的"不"字可能是刊误。



料，不但生香，且具抗菌防腐的作用。

关于仲将墨所用添加剂的种类，宋晁季一《墨经·药》说只有朱砂和麝香两种[55]，今世学者也有人引用这一说法的[47]，其实并非如此。本书从苏易简《文房四谱》和李孝美《墨谱法式》等之说，至少有4种。

北魏时期，有关制墨工艺的记载更为明确。《齐民要术》卷九第九十一“笔墨”条载：“合墨法：好醇烟擣讫，以细罗绢筛于缸内，筛去草莽，若细砂尘埃。此物至轻微，不宜露筛，喜失飞去，不可不慎。墨屑一斤，以好胶五两，浸梣皮汁中。梣，江南樊鸡木皮也，其皮入水绿色，解胶，又益墨色。可下鸡子白，去黄，五颗。亦以真朱砂一两，麋香一两，别治，细筛，都合调，下铁臼中，宁刚，不宜泽。擣三万杵，杵多益善。合墨不得过二月、九月，温时败臭，寒则难干潼溶，见风日解碎。重不得过三二两。”此“醇烟”、“墨屑”皆指纯净的烟黑。此合墨用料亦为6种，即炭黑、动物胶、梣汁、鸡子白、朱砂、麋香。炭黑为基本原料，胶为粘合剂，其他为添加剂。墨屑与胶之重量比为16:5。潼溶，即胶干得不好，或无法使胶干得很好，以致形成粘糊状。可见此制墨用料与前述仲将墨法基本一致，大体上反映了南北朝，及其稍前、稍后的制墨工艺；说明相类似的配方大约三国或稍前便已形成。

后魏《齐民要术》卷九第九十说得更为具体，基本工序是先浸皮，使之初步膨润，然后加水煎煮，并不断搅拌，最后“待皮烂熟，以匕沥汁，看末后一珠，微有粘势，胶便熟矣”。倾入盆中，分级，晒干，便可得到成品胶。其中有两点值得注意的是：此时人们对气温和水质，与制胶过程的关系有了较深认识，说：“煮胶要用二月、三月、九月、十月，余月则不成（原注：热则不凝，无作饼；寒则冻瘃，令胶不粘）”。又说：“凡水皆得煮，然咸苦之水，胶乃更胜”。因咸苦之水多呈碱性，可提高胶的水解速度。

（三）隋唐五代制墨添加剂的变化

墨的基本组分是烟和胶，但添加剂则历代多有变化。韦仲将墨、贾思勰墨的添加剂都是梣皮、鸡蛋白、朱砂、麝香4种，唐五代则又有不同。宋晁季一《墨经》载：“凡墨，药尚矣……唐王君德用醋石榴皮、水犀角屑、胆矾三物。王又法：梣木皮、皂角、胆矾、马鞭草四物。李廷珪用藤黄、犀角、真珠、巴豆等十二物。”[55]此“水犀角屑”，元陆友《墨史》卷上作“水牛角屑”。可见唐代的王君德墨添加剂又新增了五物，五代李廷珪墨却用了十二种，他们各自都是当代制墨名家。王君德，元陆友《墨史》卷上载：“王君德者，唐末人。蔡君谟云：‘世有王君德墨，人间少得之，皆出上方。或有得之，是为家宝也。”[60]李廷珪，《墨史》卷上又载：“江南黟歙之地有李廷珪，墨尤佳，廷珪本易水人，其父超，唐末流离渡江。”“廷珪，超之子也，世为南唐墨官。蔡君谟云：廷珪墨为天下第一品。”[60]其中皂角是古代常用表面活性剂，可提高胶液对炭黑的浸润性和保持墨的稳定性。胆矾可改善墨的色相，使胶液稍具酸性，亦有杀菌防腐的性能。

## 第八节 火药的发明

“火药”之原意当为“含火之药”、“发火之药”，是中国古代四大发明之一，

后经阿拉伯传到了欧洲，对世界文明的发展和社会的进步作出了巨大贡献。在 19 世纪后期发明的以硝化棉为主要原料的无烟火药前，中国发明的“火药”是人类使用的唯一爆炸性材料。

今人称古代“火药”为“黑火药”，基本成分是硝石、硫黄和木炭，其中硝石是关键，没有硝石便没有火药。当此三种物质混合燃烧时，便会产生强烈的氧化—还原反应，猛烈燃烧，释放出大量的热量和气体，体积急剧膨胀，产生强烈爆炸。火药的爆炸性能常因其组分比例的变化而异。我国古代火药技术发明于唐代中期，它的发明与炼丹家对炭、硫、硝的长期使用是密切相关的。

**一、唐以前对硫和硝的认识**

在黑火药的三个基本组分中，人们对炭的接触和利用是最早、最多的，除日常生活外，制陶、冶金都要大量用炭；对硫和硝的接触和使用虽然稍晚，但亦可上推到先秦时期。

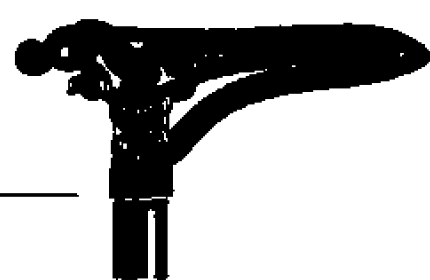
（一）对硫的早期认识和应用

我国古代对硫黄的认识和利用至晚始于春秋时期，前面谈到，江陵出土的越王勾践剑黑色花纹曾作硫化处理，剑格正中含硫量达 5.9%；另一件伴出的菱形花纹剑首部含硫最高达 8%[1]。我国古代关于硫的记载当也可上推到春秋时期。《太平御览》卷九八七“药部四”云:“范子计然曰：石流（黄）出汉中。”此“石流（黄）”即硫黄。计然，传为春秋越人，范蠡之师。汉中，战国属楚，秦统一全国后，其地置汉中郡，汉代仍之。有学者依此认为这条文献当出于秦代之后[2]，当有一定道理，但其基本事迹和原始出处应当更早一些。

战国时期，人们对硫的认识和利用都有了扩展，硫化处理的实例增多，可能人们还把它应用到了医药中。如前所云，我曾分析过荆门十里铺包山大墓青铜器，至少 5 件进行了硫化处理，表面最高含硫量达 17%，其中有 3 件器物表面平均含硫量达 13.477%，在表面诸组分中，硫仅次于铜而居第二位[3]，断代战国晚期。关于硫黄入药的情况下面再谈。

汉魏时期，有关硫的记载就较为明确了。《淮南子》卷三“天文训”云:“夏至而流黄泽，石精出。”高诱注云:“流黄，土之精也，阴气作于下，故流泽而出也。石精，五色之精也。”《淮南子》约成书于公元前 120 年。高诱为东汉人。说“流黄”至夏而“泽”，未必是属实的，只不过反映了古代的一种思想和观念。《本草纲目》卷一一“石硫黄·集解”条引《吴普本草》说：硫黄“或生易阳，或生河西，或五色黄，是潘水石液也。烧金（又作“令”）有紫焰，八月九月采”。《吴普本草》，魏吴普撰，一卷。吴普，广陵人，华陀弟子。这些文献对硫黄的性状都作了较好的描述。

大约汉和汉前，人们便开始以硫黄入药。《本草纲目》卷一一“石硫黄”条又引吴普云：石硫黄，“‘神农’、‘黄帝’、‘雷公’，咸，有毒；‘医和’、‘扁鹊’，苦，无毒”。所云神农、黄帝皆传说中人。雷公，《本草纲目》卷一上说其为黄帝时人；医和，春秋秦国良医；扁鹊，战国名医。以这些名医来命名的本草类书、医书的写作年代当在先秦或秦汉之间，故用硫入药之事，亦应大体反映了先秦，或者秦汉间的一些情况。《本草纲目》卷一上云《吴普本草》分记了《神农本




草》、《黄帝内经》等书的一些主要内容，云“所说性味甚详，今亦失传”。

至迟南北朝时，人们便从医学立场，对硫黄的质量作了分级。《本草纲目》卷一一“石硫黄”条引梁陶弘景云：“东海郡属北徐州，而箕山亦有。今第一出湖（扶）南林邑，色如鹅子，初出壳者名昆仑黄；次出外国，从蜀中来，色深而煌煌。”硫黄“仙经颇用之，所化奇物，并是黄白术及合丹法”。这说到了硫黄的质量分级，并说它已用于炼丹之中。

（二）对硝石的早期认识和应用

“硝石”的成分主要是硝酸钾。《本草纲目》卷一一“金石·消石·释名”引宋马志云：消石，“以其消化诸石，故名”。我国古代对硝的接触和应用当可上推到先秦时期，这至少有三条资料：

1. 《太平御览》卷九八八“药部四”引“范子计然曰：消石出陇道”。此“陇道”之名虽有些像唐“陇右道”之讹①，似为唐人之语，但其史迹当是可信的。

2. 《重修政和经史证类备用本草》卷三“消石”条引《吴氏本草》云：“消石，《神农》苦；《扁鹊》甘。”（《太平御览》卷九八八“消石”条同）这条文献虽为后人引述，但应大体反映了先秦，或秦汉间的一些本草学、临床学知识。这是当时已用硝石入药的证明。

3. 1973 年，长沙马王堆汉墓出土的帛书医方，即《五十二病方》中记有“消石”，云“稍（消）石直（置）温汤中以洒痈”。据考，这些帛书当抄写于秦汉之际，其“病方”则应当问世于《黄帝内经》成书之前的战国时期[4]。

及汉，有关硝石的资料又有了增加，其中较值得注意的简牍和文献资料有如下几条：

1. 甘肃武威旱滩坡东汉墓葬出土了大批医药简牍，涉及 100 余种药物，有矿物药 16 种，其中便包括雄黄和硝石[5][6]。

2. 《道藏》“三十六水法”中[7]，有 42 种“水”，计 59 方，其中 32 方有“消石”，此书据认为是八公授淮南王刘安的，基本内容应出自汉代，即使今本与原本内容稍有出入，但作为主要药剂的“消石”，也应当是必不可少的[8]。这说明早在汉代，人们便把“消石”用到了炼丹实践中。

3. 《云芨七签》卷一〇八引刘向（前 77？～前 6 年）《列仙传》载：“赤斧者，巴戎人也，为碧鸡祠主簿。能作水澒炼丹，与消石服之。”

4. 《史记》卷一〇五“扁鹊仓公列传”载，淳于意（即仓公）曾用“消石”为淄川王美人治疗过脉燥症，云：“菑川王美人怀子而不乳，来召臣意，臣意往，饮以莨礍药一撮，以酒饮之，旋乳。臣意复诊其脉，而脉燥；燥者，有余病，即饮以消石一齐，出血；血如豆，比五六枚”。淳于意约生活于公元前 216～前 150 年间。

5. 《本草纲目》卷一一“金石·消石·释名”云：“消石”，得火即烟起，“狐

---

① 古无“陇道”说，唯见唐分天下为十道，陇右道为其一，辖陇山以西至今新疆东部一带。但“陇山”之名当早已有之，战国秦置有陇西郡；“道”之行政划分亦较早，汉代在少数民族地区设置的县谓之“道”。

刚子《炼粉图》谓之北帝玄珠"。如前所云，狐刚子为东汉末年人。

6.《神农本草经》云:"消石，味苦寒、主五脏积热，胃胀闭，涤去蓄结饮食，推陈致新，除邪气。炼之如膏，久服轻身，一名芒消（据《太平御览》引文补），生山谷。"[9]

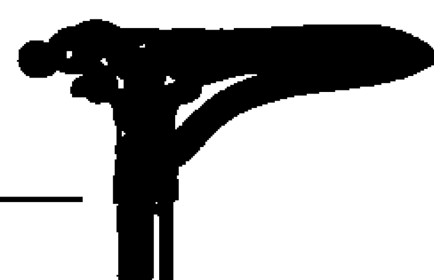
南北朝之后，关于硝石的记载又有了增加，人们对它的性能也有了进一步认识，并初步掌握了区别真假硝石，及其提纯的方法。《本草纲目》卷一一"金石·消石·修治"条引抱朴子曰:硝石"能消柔五金，化七十二石，为水制之"。这里谈到了硝石的一些化学性能。《本草纲目》卷一一"消石·集解"引梁陶弘景云:"消石疗病与朴消相似，仙经用此消化诸石，今无真识此者。"此"朴消"即硫酸钠，"消石"即硝酸钾。这谈到了硝石的医药和化学性能。陶弘景又说:"有人得一种物，色与朴消大同小异，朏朏如握盐雪，以火烧之，紫青烟起，云是真消石也。"这谈到了区别真假硝石的方法。"朴消"当为假硝；"紫青烟起"是钾盐的重要特征，是为真硝。钾盐灼烧时会产生紫色火焰，钠盐在同样条件下产生的火焰是黄色的。这是世界上区别钾盐与钠盐的最早记载。《本草纲目》卷一一"金石·消石·集解"引陶弘景云:"今芒消乃是炼朴消作之。"此"朴消"当为一种原料或粗品，"芒消"即硝酸钾的结晶[10]。这是我国古代提纯硝石的较早记载。

在此有一点需顺带说明的是，"消"、"消石"本应指硝酸钾的，但由于某些矿物的外部形态和部分性能与之比较接近，而古人又缺乏足够的物理化学知识，故人们往往把它与硫酸钠（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$）、硫酸镁（$MgSO_4 \cdot 7H_2O$），及致硝酸钠（$NaNO_3$）混称。陶弘景虽已经指出了鉴别真假硝石的方法，但即使到了唐代，依然经常相混。据分析，鉴真大师东渡日本带去的"芒消"竟然是硫酸镁[11]。多物一名，一名多物的现象在历史上是经常发生的[12]。但不管怎样，在先秦、汉后关于"消石"的资料中，多属硝酸钾无疑，我国古代对硝酸钾的认识仍然是较早的。

## 二、关于火药的技术渊源

一般认为，火药的发明应归功于炼丹家的实践[13]，导源于炼丹术中的一系列"伏火"试验。古人炼丹的主要目的，是获取长生不老的仙丹。在长期的炼丹实践中，人们会经常看到这样一些现象，或因生成了挥发性物质，或因丹炉中发生了剧烈的氧化和燃烧，致使炼丹产品皆逸散以尽，得不到任何结果，人们便把这现象归之于有关炼丹物质具有"火"的属性[14]，于是产生了一系列的"伏火"丹炉法，以降伏丹炉物料的"火性"，得到冀望的产品。由现有资料看，降服挥发物的"伏火法"至迟出现于汉[14]；有学者认为，《周易参同契》便奠定了伏炼法的基础[15]。从有关资料看，前期"伏火"处理主要是针对汞等挥发性物质言的，后期则又针对燃烧性物质等。至迟西晋末年，硝、硫、炭三者便同时作为丹房物料而见诸记载[16]。

《抱朴子·内篇》卷一一"仙药"谈到过六种服食雄黄的方法，云：雄黄"饵服之法，或以蒸煮之；或以酒饵；或先以硝石化为水，乃凝之；或以元胴肠裹蒸之于赤土下；或以松脂和之；或以三物炼之，引之如布，白如冰"。这里列举了饵服雄黄的六种方法，其中最值得注意的是第六种，即以"三物"与雄黄共炼，最



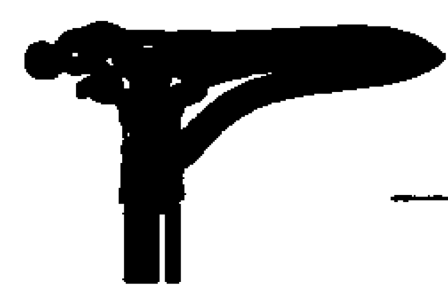
后取其精华而食之。文中所云“三物”，指硝石、元胴肠、松脂。元胴肠，《重修政和经史证类备用本草》卷四“玉石部·雄黄”条、《本草纲目》卷九“金石·雄黄”条都引作“猪脂”；又《玉篇》:“胴，大肠也。”说明“元胴肠”即是猪大肠，亦即是猪脂。因松脂、猪脂，皆为含碳物质，为强还原剂，硝石是强氧化剂；若“三物”与雄黄合炼的话，雄黄又是含硫的，势必引起爆炸[17]。在古代条件下，炼丹家使用这种方法是不可能获得任何反应产物，即仙丹的。这是迄今所知与火药有关的最早丹炉配方。我国古代黑火药应是由此发展、演变而来的，或者说，火药的发明应导源于炼丹家以“三物”与雄黄共炼的实践[16]。但此配方还不是火药，只能说是火药的前身。依葛洪所说，当时并未发生剧烈的燃烧，即三物并未“含火”，而是生成了“引之如布，白如冰”的反应产物，即白色氧化砷结晶，说明当时并未同时把硝、炭、雄黄放在一起加热，而可能是采用了其他方法，如：（1）以“三物”分别与雄黄合炼。（2）依先氧化，后还原的顺序，用“三物”先后依次与雄黄（和反应生成物）合炼。（3）依先还原，后氧化的顺序，用三物先后与雄黄（和反应后生成物）合炼。在这些合炼产物中，有的可能是氧化砷，有的则是单质砷[16]。

**三、火药的发明**

从现有资料看，人们认识到“火药”是一种含火的“药剂”之事，其起始年代应属唐代中期[18]。唐元和三年（808 年）清虚子撰《铅汞甲庚至宝集成》“伏火矾法·伏硫法”载:“硫二两，硝二两，马兜铃三钱半。右为末拌匀，掘坑，入药于罐内，与地平，将熟火一块弹子大，下放里面，烟渐起，以湿纸四五重盖，用方砖两片捺，以土冢之，候冷取出，其硫黄（伏）住。”[19]。这里谈到了硫、硝、炭（马兜铃）三者混合的情况，且把整个操作过程称之为“伏火矾法”，说明人们已经认识到了此三者的混合物具有“火性”，并隐藏着剧烈的燃烧和爆炸的危险。有学者还依照这一组分进行了模拟试验，得知药品在伏火前后都具有急剧燃烧的性能[20]。今人一般即以此唐代中期，即元和三年“伏硫法”作为我国火药发明的一个重要标志。

《真元妙道要略》也有类似说法，云:“有以硫黄、雄黄合硝石并蜜烧之，焰起烧手面及烬屋舍者”。又云:“硝石……生者不可合三黄等烧，立见祸事”[21]。这两段记载中，前一段谈到了硫黄、雄黄、硝石、炭（蜜烧而成）并烧，后一段谈到了三黄与硝石并烧，皆会引起剧烈的氧化反应。此书托名晋郑思远撰，据考，其成书年代当也在唐代中期。说明硝、硫、炭三者混合物的易燃性能此时已广为人知，也说明了“火药”，即“含火之药”此时已经发明。之后的五代独狐滔《丹方鉴源》卷中在谈到三黄和硝石处理时，也有类似的记载。云“石炭伏硫磺，去锡晕，制雄、雌，制硇砂、消石，少可用”[22]。此“少可用”即“只有少量才可使用”，或“少量可以使用”之意，这显然是为了避免发生剧烈燃烧。

至于火药用于军事上的时间，目前学术界尚无一致意见。有人认为其可上推到唐代晚期，主要依据是《九国志》和《虎钤经》中的部分文字。宋初路振（957～1014 年）《九国志》卷二“吴臣传·郑璠”云：唐哀帝天祐初（约 905 年），郑璠“以所部发机飞火，烧龙沙门”[23]。其中提到了“发机飞火”。宋初许洞（约





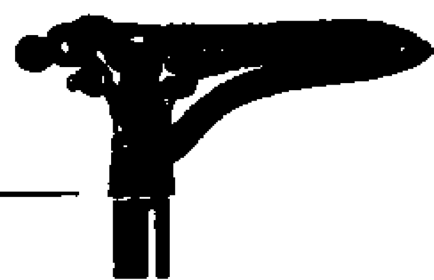
976～约1017年）《虎钤经》（景德元年，1004年）卷六“火利第五十三”云：“风助顺利为飞火。”许洞自注云：“飞火者，谓火炮、火箭之类也。”[24]这两种文献都谈到了“飞火”，有学者认为，路振和许洞是同时代人，两人说的“飞火”的含义应当是一致的，即都是火炮之意。笔者认为此说未必靠得住。因《九国志》为史书，路振在撰写此书时，采用的应是历史资料、历史上的语言，其所云“飞火”应反映唐代末年含义；而《虎钤经》及其“注”，则是宋人著作，其中的“飞火”应反映宋代“飞火”的含义。所以，同为一词，同为宋初之人所撰，但两书立足点不同，所云“飞火”的含义便未必一样。另外，若将郑璠部905年所用“飞火”解释为火药火器时，还有两个问题较难理解：（1）若火药火器唐末便已用于战争，为何战乱的五代十国未见使用？（2）同样，为何宋太祖开宝三年（970年），兵部令史冯继昇等进火箭法时，还要命其“试验”？其实，从大量的文献记载来看，火药火器，作为一种改造社会的物质工具而应用于社会，应是北宋之后的事。我们以为：唐代郑璠所用“飞火”，当属非火药类；而宋初许洞所云“飞火”，则属火药类；两者都是以抛石机发射的。

火药在唐代发明出来是炼丹家长期探索、实践的结果。从技术上看，则与硝的辨别和提纯技术的进步密切相关。在火药的三个基本组分中，硝最为重要。明唐顺之《武编前编》卷五“火”条载：“硝则为君，而硫则为臣……惟灰（炭）为之佐使。”这大体上反映了三个组分在火药中的不同作用和地位。唐代之后，鉴别、提纯硝石的初步方法又有了进一步发展。唐人辑纂的《黄帝九鼎神丹经诀》[25]卷八“明化石篇”载：真物（硝酸钾）“形极似朴消（按：此指钠盐芒硝），当先以一小片置火炭上，有紫烟（焰）出，乃成灰者上”。同书卷一六又云：“硝石与朴消（钠芒消），大同小异，朏朏如握盐雪不冰，强烧之紫青烟起，仍成灰，不沸无汁者是硝石也，若沸而有汁者，即是朴硝（钠硝）也。”“朴消（钠硝），用之者烧之，汁沸出，状如矾石。”这里谈到了钾硝与钠硝的区别法，钠芒硝的特点是一经加热便释出结晶水，且自身溶入，形成溶液，进而沸腾，待蒸发后，便只余下无水芒硝的白色粉末了，它很有些像明矾。而钾硝受强热后（不得与炭接触）则熔化如油，是不会沸腾的。《本草纲目》卷一一“金石·消石·正误”引唐苏恭云：“消石即是芒消、朴消，一名消石朴。今炼粗恶朴消，取汁煎作芒消，即是消石。”即是说，将粗硝石经火熔、煎煮、再结晶，便可得到芒硝。硝石鉴别、提纯技术的发展和推广，为火药的发明打下了坚实的技术基础[13][26]。

在讨论火药发明期时，还有两个问题是需要说明一下：

1. 相当长一个时期内，人们一直认为关于火药的记载始见于“孙真人丹经内伏硫黄法”[13]，其实这是一场误会。经英国著名科学史家李约瑟博士考证，这是由于该文最初的引用者粗心，以讹传讹造成，实际上关于火药的最早记载与孙真人（孙思邈）并无关系[18][27]。

2. 有学者认为，我国古代火药应发明于晚唐时期，其理由有二：（1）唐代晚期以前，军事领域中绝无利用火药的记载。（2）《道藏·铅汞甲庚至宝集成》只谈到了“伏火”，人们依然是把硝、硫、炭三者的混合物视为危险品的，尚未出现将此物的燃烧性能和爆炸力加以利用的观念，要把此三者混合物加以利用，方士们





仍需在心理上、观念上、技术上实现一个大的飞跃。我们认为这两点理由都是值得商榷的：（1）前面不止一次地提到，“火药”即“含火之药”。元和三年清虚子所云“伏火矾法”中，显然人们已经意识到了该药剂“含火”。所以把元和三年或稍前作为我国火药发明期是不错的。这与“火药”的原意基本相符。（2）发明和应用，是两个不同的阶段；火药尚未应用于社会，不等于它尚未发明出来。

## 第九节　指南针的发明

我国古代最早制作出来，用以指示方向的装置是圭表（圭木或臬木）。它是利用测量日影来确定东南西北的，但这往往要受到天气的限制，于是人们先后又发明了磁石定向法和磁针定向法。磁石定向法的主要仪器是司南，磁针定向法则有指南鱼、指南针、罗盘等。从现有研究情况看，司南约发明于战国时期，一直沿用到了唐代，指南针发明于唐代中期，罗盘则发明于宋代。指南针的发明和发展，对人类开拓自己的地理视野和后来美洲大陆的“发现”，都起到了重要的作用。

### 一、指南针的前身——司南

一般认为，“司南”即磨成了勺状的天然磁石，放于“地盘”上，勺底磨得较为圆滑，地盘上刻有指明方向的刻度，在地磁场作用下，勺柄就会指向南方[1][2]。

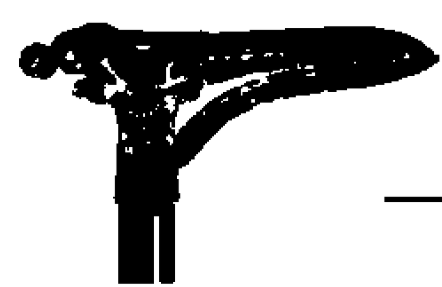
我国古代关于司南的记载始见于战国时期。《韩非子·有度》篇载：“夫人臣侵其主也，如地形焉，即渐以往，使人主失端，东西易面，而不自知。故先王立司南，以端朝夕。”此“端”即是“正”。“朝夕”原意为早晚，转意为东西方向。“端朝夕”即是“校正东西方向”。司南既为先王所立，其发明年代自应在韩非（约前280～前233年）之前。又《宋书》卷一八“礼志五”载：“《鬼谷子》云，郑人取玉，必载司南，为其不惑也。”鬼谷子，楚人，战国纵横家之祖，传为苏秦、张仪之师；这说明司南在战国时已非罕见之物。《宋书》接着又说，司南“至于秦汉，其制无闻，后汉张衡始复创造”。《宋书》为沈约所撰，其前后所云“司南”的含义是有区别的。《鬼谷子》所云者，应为磁石制作；张衡所作者，当为指南车。指南车实际上是一种礼仪性机械，并非磁石制成，采玉是不便携带它的。

汉代以后，有关司南的记载明显增多，一些文献还较为明确地谈到了司南的形制和使用方法。其中最为重要的资料有如下两条：

一是东汉王充《论衡·是应篇》。其云：“故夫屈轶之草，或时无有而空言生，或时实有而虚言能指。假令能指，或时草性见人而动；古者质朴，见草之动，则言能指。能指，则言指佞人。司南之杓，投之于地，其柢指南。鱼肉之虫，集地北行，夫虫之性然也。今草能指，亦天性也。”这整段文字的前一部分是辨析屈轶之草是否能指佞人的①；后一部分说司南之柢指南，以及鱼肉之虫北行，屈轶之草指佞人，原都是一种“天性”，一种自然现象。

据王振铎考证，《论衡·是应篇》所云“投之于地”的“地”，并不是土地，

① 屈轶之草能指佞人之说其他文献中也曾提到。《竹书纪年》卷上“黄帝轩辕氏”条，梁沈约附注：“天下既定，圣德光被，群瑞华臻。有屈轶之草生于庭，佞人入朝，草则指之，是以佞人不敢进”。





而是其形如栻之方盘。栻，系古时用以占时日的器具，以枣心木等制成[3]。《史记》卷一二七“日者列传”云：“今夫卜者，必法天地，象四时，顺于仁义，分策定卦，旋式正棊，然后言天地之利害、事之成败。”司马贞“索隐”曰：“式即拭也，旋转也。拭之形，上圆象天，下方法地，用之则转天纲，加地之辰，故云旋式。棊者，筮之状正棊，盖谓下，以作卦意。”此“加地之辰”之“地”，也即是“地盘”之地。三国张揖《广雅》训“栻”云：“梮有天地，所以推阴阳，占吉凶。”此“梮”即棋盘，“天”、“地”即天盘、地盘。《唐六典》卷一四“用式之法”注云：“今其局以枫木为天，枣心为地。”[4]个中的天、地，与“是应篇”所云“投之于地”之地，是同义的。据研究，汉代地盘四周刻有八干（甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸。天干中“戊、己”没有刻上，原因是“戊、己”在五行中属土，在中央）、十二支（子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥），以及四维（乾、坤、巽、艮），计 24 向，用来配合司南定方位[1]。

二是唐韦肇《瓢赋》，赋中有一段文字谈到了司南的形态：“器为用兮则多，体自然兮能几？惟兹瓢之雅素，禀成象而瑰伟……挹酒浆，则仰惟北而有别；充玩好，则校司南以为可。”[5]全文 300 余字，热情地赞扬了瓢之雅素和瑰伟的品质。“挹酒浆，则仰惟北而有别。”是以瓢比德北斗。此语出《诗·小雅·大东》：“维北有斗，不可以挹酒浆。”“充玩好，则校司南以为可。”是以瓢比德比行于司南，说瓢可充玩好之物，可校司南之形。依韦肇之意，司南的形状必近于瓢者。这说明直到唐代为止，人们对司南的外形依然是比较熟悉的。

此外，在东汉至唐代的文献中，关于司南的记载还有不少，其中相当大一部分皆以之作喻。如《三国志·蜀志·许靖传》：“南阳宋仲子于荆州，与蜀郡太守王商书曰：‘文休倜傥瑰玮，有当世之具，足下当以为司南。’”梁刘勰《文心雕龙》卷六“体性”云：“八体虽殊，会通合数，得其环中，则辐辏相成。故宜摹体以定习，因性以练才。文之司南，用此之道也。”[6]

学术界对司南的发明年代也有一些不同看法，有学者认为它发明于汉，而不是战国，说《韩非子·有度》所云之司南是指测日影的木臬，与《考工记·匠人》所云用以“正朝夕”的木臬是一样东西[7][8]，但可惜论据不甚充分，多有不从其说者[9]。

为了验证文献上关于司南的记载，20 世纪四五十年代，王振铎曾用天然磁石琢制过数枚司南模型，其中有的磁力较强，有的较弱。有学者曾用其中磁性稍弱的两枚做过 80 次定向试验[2]，其中 64 次正指午向，有 14 次指在丙午、丁午向，或丙、丁的位置上；只有两次指异常，指到了坤、辰向，这可能与司南模型底部球面的接触条件有关。由试验可知，此两枚磁性不是十分强的司南模型，其指南的概率达 80%，指南或基本指南的概率是 97%，而只有 2.5% 的意外。可见，天然磁体的地盘定向是可信的，古人关于司南的记载亦是基本可信的[2]。

## 二、指南针的发明

我国古代指南针当是用淬火碳素钢制作，经人工磁化处理而成的。因天然磁石的机械强度极低，制作司南尚可，琢磨指极针状物则十分困难了，而且其磁向中心也不易找到。





我国古代指南针发明于何时，学术界长期存在不同看法，今主要介绍如下两种：

（一）汉代说

这是刘洪涛等在20世纪80年代提出的[7]。其主要依据有如下两方面资料：

1. 汉代以前人们就认识到了磁石吸铁的现象。《吕氏春秋》第九“季秋纪·精通”条说:“慈石召铁，或引之也。”高诱注:“石，铁之母也，以有慈，石故能引其子。”又，《鬼谷子·反应篇》云:“若慈石之取针，舌之取燔骨。其与人也，微见其情也”。

2. 汉时，人们对钢针被磁化的现象有了进一步认识。《太平御览》卷七三六引《淮南万毕术》云:“慈石提碁，取鸡（血）磨针铁以相和，慈石、碁头，置局上自相投也。”同书卷九八八又引《淮南万毕术》云:“磁石拒碁，取鸡血作针，针磨铁，捣之，以和磁石，日涂碁头，曝干之，置局上，则相拒不休。”①

我们认为这些记载基本上都是可信的，它说明汉代对钢针磁化现象已有了一定认识，但并未说到永久磁针的使用情况，若依此便说汉代已发明指南针的话，则依据尚嫌不足。钢针被磁化后，还有一个保持磁性的问题，若其含碳量较低，或未经淬火，或淬而不佳，磁性维系很短，那是不能成为指南针的。

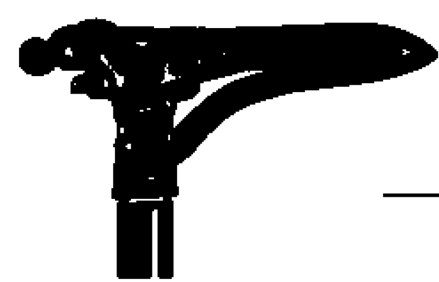
（二）唐代中期说

这是吕作昕、吕黎阳在20世纪90年代提出的。他们曾进行过大量的文献研究，其中最值得注意的有如下两方面[8]：

墓志铭。这类资料在考古发掘和文献记载中都可看到。在今接触到的资料中，唐代中期以前的墓志皆不记载墓穴的详细方位，最多只提到山势地形，如六朝后期文学家庾信（512～580年）所撰《窦氏墓志铭》等[10]、1960年长治所出唐代早期乐士则墓志铭等[11]皆是如此。唐代中期之后则不然，如柳宗元（773～819年）《伯祖妣赵郡李夫人墓志铭》，其中便有“艮之山，兑之水”等字[12]；1984年浙江慈溪所出唐昭宗光化三年（900年）“马氏夫人墓志罐”，铭中便有“葬于当乡湖内山北，保其坟甲向，永为万岁之坟也”等语[13]；这两篇墓志铭都谈到了详明的方位，显然当时已有了指南针[8]。

唐代诗文。其中最值得注意的是段成式（803～863年）《酉阳杂俎续集》卷五“寺塔记上”所载诗句。会昌三年（843年），段成式与张希复等遍游了长安各寺院，并作了许多诗篇，在游历了靖善坊兴善寺时，有感而作《辞·二十字连句》一首，云:“乘晴入精舍，语默想东林；尽是忘机侣，谁惊息影禽。有松堪系马，遇钵更投针，记得汤师句，高禅助朗吟。一雨微尘尽，支郎许数过。方同嗅薝蔔，不用算多罗”[14]。其中最为重要的是第五六两句，从上下文看，此“松”当即松树，此“针”当是指南磁针。“遇钵更投针”便是把指南浮针投入钵中的水面上以辨方向[8]。同书同卷又载，段成式在游览了平康坊菩萨寺后，因有感于一位束草游僧的事迹，又作《辞·书事连句》，描写僧人爬涉山野时的诸般情景。云“悉为

① 《太平御览》，此据文渊阁《钦定四库全书》抄本（武汉大学出版社电子版第321碟）。中华书局本个别文字有别。




无事者，任被俗流憎。客异千时客，僧非出院僧。远闻疏牖磬，晓辨密龛灯，步触珠幡响，吟窥钵水澄……佛日初开照，魔天破几层。咒中陈秘计，论就正先登。勇带绽（绽疑作磁）针石，危防邱井藤”[14]。从上下文看，此“磁针石”应即磁针和磁石；磁针用作指向，磁石用作养针，以免磁针失去了磁性。“吟窥钵水澄”指游僧一边苦吟经书，一边观察水面磁针所指方向，以防迷路[8]。

《酉阳杂俎续集》前后两段诗文，都描写了僧人的活动；僧人超凡脱俗，游于天地之间，其所携带的“钵”和“针”当非民俗中用于游戏之针，而应是一种指南水针；虽其具体形态尚难分辨，但其能浮之于水，便应装有浮标。再结合唐代中期墓志铭的情况看，唐代中期已发明水针当是无疑了的。只不过民间使用尚少，而多存留于道者手中而已。

此外，20 世纪 40 年代时，还有过“宋代说”，这是王振铎提出的[15]。这方面的资料较多，而且较为确凿，也研究较透，故当时很快便得到了学术界的首肯。故宋代已有指南针是十分肯定的，但从最新研究情况看，宋代不应是指南针的发明期，而是其大量使用的阶段。我们还是倾向于“唐代中期”说。

造纸、印刷、火药、指南针，向来被人们称为中国古代的四大发明。至此，这四大发明都已产生；造纸术发明于汉，雕版印刷发明于南齐，后两项则都是唐代发明出来的。

指南针当是在方术家长期探索、实践的基础上，由司南发展、演变而来的，它与指极磁体(司南)的区别主要有三：(1) 形态和大小不同。一个呈勺状、瓢状，体型较大；一个呈针状，体型较小。(2) 材质和加工方法不同。一个由天然磁石琢磨而成，一个由钢针经淬火，人工传磁而成。(3) 装置方法不同。司南的磁勺是直接放在栻占式地盘上的，指南针则有多种装置法。指极磁体由天然磁石发展到永久磁铁，是人类认识上的一大进步。磁针是 1180 年（相当于南宋淳熙七年）前后，经由阿拉伯人之手，从中国传到欧洲去的。欧洲关于指南针的记述始见于 1195 年英国亚力山大·内卡姆（AlexandeNekam，1157～1217 年）《论物质的本性》一书。

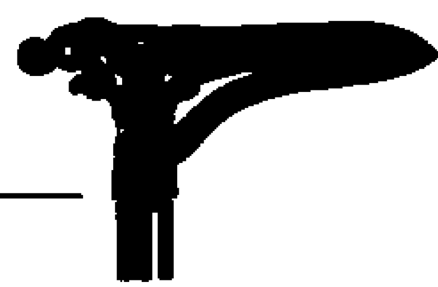
## 第十节　髹漆技术的发展

隋唐时期，由于瓷器技术的发展，漆器使用范围大为缩小，本来用漆器制作的部分器物，此时期都改用了瓷器；由于社会意识的变化，考古发掘的漆器亦大为减少。但此期的髹漆技术还是具有鲜明特点的，如夹纻胎技术有了扩展，并较多地用到了大型佛像和果物形态的工艺品上，多层卷木胎亦有了发展，并出现了银铅胎；金银平脱发展到更高水平，螺钿工艺盛况空前；雕漆技术、犀皮技术亦有了一定发展。

### 一、几种特殊漆器的产生和发展

#### （一）夹纻胎的发展

唐代夹纻胎漆器的使用领域进一步扩展开来，除了制作一般器具外，还用此法制作了一些大型佛像、人像，及至类于工艺品性质的果物形态。





关于夹纻胎佛像的记载在多种文献上都可看到。《旧唐书》卷一一载：大历十三年（778 年）二月甲辰，“太仆寺佛堂有小脱空金刚”。此“脱空”显然是指脱胎，这也是唐代用“脱”字将表述夹纻胎漆器之例证。《资治通鉴》卷二〇五载：天册万岁元年（695 年）正月，“明堂既成，太后命僧怀义作夹纻大像，其小指中犹容数十人，于明堂北构天堂以贮之。堂始构，为风所摧，更构之，日役万人，采木江岭，数年之间，所费以万亿计，府藏为之耗竭”。胡三省注称：“夹纻者，以纻布夹缝为大像，后所谓麻主是也。”[1]唐张鷟《朝野佥载》卷五所载略同，而且还谈到了一些具体尺寸，云：“周证圣元年（695 年），薛师名怀义，造功德堂一千尺于明堂北，其中大像高九百尺，鼻如千斛船，中容数十人并坐，夹纻以漆之”[2]。此三段文献都说到了夹纻胎佛像。文中说佛像高九百尺，鼻中，或说小指（内腔）中能容数十人，可能有些夸张，但较多处应是可信的。此技术大约也传到了周边地区，《大唐西域记·瞿萨旦那国》载：“王城西南十余里，有地迦婆缚那伽蓝，中有夹纻佛像”。

制作人像的记载亦有多段。邵博《河南邵氏闻见后录》卷二六载：“苏世长云：臣昔侍陛下于武功，见（唐高祖）所居宅仅庇风雨者。有唐二帝纻漆像，不知何帝也。”[3]又，宋郭若虚《图画见闻志》卷二“厉归真”条：“道士厉归真，异人也，莫知其乡里……尝游南昌信果观，有三官殿，夹纻塑像乃唐明皇时所作，体制妙绝”[4]。大型佛像已不易制作，制作人像自然要更难一些。

《宣和画谱》卷一六“花鸟二”还谈到了五代画家滕昌祐用夹纻胎制作果物之事：滕昌祐本吴郡人，后游四川而为蜀人。其栽花竹杞菊，而得其形似于笔端。其画工于花鸟和动物，还“兼为夹纻果实，随类传色，宛有生意也”[5]。

唐人还以夹纻胎漆器制作过一些建筑物。《新唐书》卷一三“礼乐志”载：则天已毁东都乾元殿，以其地立明堂。“开元五年，复以为乾元殿而不毁。初，则天以木为瓦，夹纻漆之”。

唐代的夹纻胎漆器今已甚为鲜见，然美国纽约市大都会美术馆却藏有仪容端庄的唐夹纻胎坐佛一尊；像高 97 厘米，眉目疏朗，衣纹简练；唯有的着色已经脱落，手腕残缺；从其中空处，可观察到干漆布层的厚度[6]。

（二）多层卷木胎漆器的发展

1978 年，湖北监利县一砖石墓出土了 8 件漆器，器形有碗、盘、盒、勺等，内朱外墨，皆为素色漆器，无彩绘。除勺为整木雕成外，余为多层木胎夹纻。具体做法是：由宽 2 毫米的薄杉木条一圈圈地圈成，外裱麻布并髹漆。伴出物有“开元通宝”及三彩陶罐，断代为唐[7]。这批漆器的主要特点是：（1）其胎由 2 层以上的薄板，采用粘贴、对接的方式叠成、圈成，且夹纻。它显然是多层卷木胎夹纻。我国古代的薄板胎漆器在敖汉旗，以及藁城台西村商代中期漆器上便有使用，战国时期便有了一定的发展。木胎夹纻胎漆器约始于先秦时期，之后历代都有使用。多层卷木胎夹纻在唐代以前所见不多；已往的薄板胎或夹纻胎漆器通常都只有一层木胎。（2）这批漆器皆为素色漆，即漆器表面只髹 1～2 种色漆，没有彩绘。这种髹漆方式发明较早，但唐前使用较少，宋后有了进一步发展。

（三）银铅胎漆器的出现

1942～1943年，四川前蜀王建墓出土一批漆器，器形有：门、棺、椁、册匣、宝盝、镜盒等6种。其中最值得注意的是银衬铅胎漆碟和银平脱册匣、镜匣。碟为五瓣形，圆底，圈足，最大直径19.5厘米，深2厘米，圈足高1厘米。胎分二层，内层为银，外层为铅，总厚约1毫米。外层表面极为粗糙，漆层业已脱落，仅见残迹。碟内表不髹漆，银衬外露。银衬上钻贴有金箔镂花；金花钻痕透至铅胎上。碟之内表既有镂空金花，又见银底，金碧相映，光彩夺目[8][9]。这种钻贴了金花的银衬铅胎漆器，此前很少看到，极其奢华。其金箔上的抓钉，一方面为固定自身，另一方面还可起到固连银衬、铅胎的作用。王建葬于前蜀光天元年（918年）。

（四）“金银平脱”漆器的空前发展

前面谈到，金银平脱亦属镶嵌工艺范围，它是在漆器贴金银的基础上发展过来的，此工艺的发展当受到过青铜金银错的启发和影响。漆器镶嵌玉石的工艺可追溯到良渚文化时期，漆器上贴金箔工艺可追溯到商代中期；至迟西汉，金银平脱工艺便显示了一定的技术水平。由于社会经济的发展和统治者的奢华，迄唐，金银平脱这种高级工艺品便发展到相当成熟的阶段，“平脱”一词大约也是这一时期出现的。现代研究者陆树勋[10]、梁上椿[11]、冯汉骥[8]、杨有润[9]等人认为，此名称的本意便是花纹平出。

目前在考古发掘和传世品中看到的唐五代金银平脱漆器主要是铜镜和匣盒类器物，所见实物主要有：

唐金银平脱天马鸾凤镜。1963年陕西博物馆收集，圆形，直径30.0厘米，高圆钮，连枝花瓣覆蕚座；主纹为二奔马，二翔凤，它们之间布有缠枝花草，以及一对飞翔的小凤、一只小麻雀、一只小天鹅。凤翅和凤尾，马鬃和马尾皆嵌金，凤身和马身皆嵌银，在褐色漆地的衬托下，天马鸾凤，皆闪耀着夺目的光彩[12]。

唐金银平脱羽人飞凤花鸟镜。传为郑州出土，八出葵花形，直径36.2厘米。高圆钮，重瓣花纹座；座外有4组对称排列的石榴花纹，其间饰以同向飞翔的4只禽鸟。主纹为双羽人与双飞凤，其间配以花卉和禽鸟。八莲座、羽人、飞凤、大型花卉皆嵌银，作点缀的花鸟嵌金[13]。

唐金银平脱鸾鸟绶带镜。西安东郊出土，圆形，直径22.7厘米，圆钮，无座，钮外饰银片莲叶纹，再外有金丝同心结纹一周。主纹为4只金叶剪成的衔绶鸾鸟，均衔绶带，同向环钮作飞翔状，其间配以四组银饰带叶花瓣，再外又有金丝同心结纹一周[14]。

唐金银平脱鸾凤绶带镜。1970年洛阳唐天宝九年（750年）墓出土。直径30.5厘米，八出葵花形，圆钮，重瓣八花瓣形座。主纹为四只衔绶鸾鸟，环钮作同向飞翔状，间以彩蝶花草，充分利用了金银片的毛雕手法[15]。

唐金银平脱对鸟镜。偃师杏园村郑洵唐大历十三年（778年）墓出土。圆形，直径21厘米，主纹为银箔对鸟衔花图案，间以金箔剪成的石榴。镜缘内一周银箔串珠图案。金、银箔的一般厚度为0.2～0.3毫米，串珠直径0.4毫米[16]。

唐银平脱凤鸟牡丹花纹镜。2000年洛阳东郊唐元和十四年（819年）高秀峰墓出土，圆形，圆钮，钮外四花瓣，花瓣外饰鸾鸟。直径18厘米[17]。





此外，属铜镜类的还有：上海市博物馆藏银平脱花鸟狩猎纹镜、日本正仓院藏金银平脱花鸟镜，《在欧美的中国古镜》录方形银平脱宝相花镜和委角金银平脱双凤镜等。

唐银平脱方漆盒。1984～1985年河南偃师李景由墓出土，盒长20.5厘米、宽21厘米、盖高3厘米、通高12厘米，木胎已朽。漆盒外表嵌银箔，平脱，錾刻缠枝花卉图案，技法精湛，纹饰繁褥[16]。

前蜀银平脱册匣、镜匣等。前面已经提到，出于前蜀王建墓。册匣为木胎，长2.32米、宽0.45米、高0.225米；盖、底座上镶银质薄带5匝，用银钉钉实；通身朱漆。盖面饰银质雕出凤、鹤等图样。镜匣1，木胎，朱漆，27.5厘米×27.5厘米；盖面饰银质方形团花，盖的四侧两银镶边之间，嵌条枝花纹一道，盒身两道银镶边之间嵌约2.5厘米宽的花纹一条。此镜匣是墓内遗物中最为精美的银平脱漆器[8][9]。

五代花卉纹银平脱镜盒。江苏常州五代墓出土。木胎，盖顶正方形，盖面覆一整体镂雕花卉图案的银片，银片略高出漆地，其上花卉刻纹纤毫可辨[18]。平脱器的花纹一般都是平出的，由于各种原因，所见也有少数花纹是稍稍凸起的。

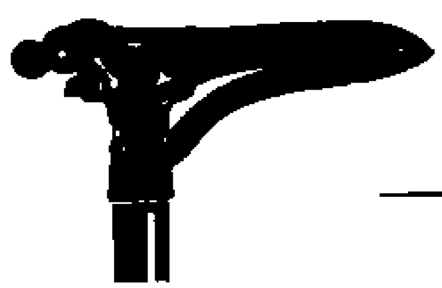
这一时期的杂记、笔记小说及至正史中，都经常提到金银平脱器。如唐段成式《酉阳杂俎》卷一载：安禄山恩宠莫比，锡赉无数，其受赐品目有：金平脱犀头匙箸、金银平脱隔馄饨盘、平脱着足叠子、银平脱破觚、银瓶平脱掏魁织锦筐、银平脱食台盘；贵妃赐金银平脱装具玉盒、金平脱铁面碗等。《资治通鉴》卷二一六载：唐天宝十年（751年），“上命有司为安禄山治第于亲仁坊，敕令但穷壮丽，不限财力。既成，具幄帘器皿，充牣其中”。其中便有银平脱屏风一。这些文献都明确地提到了“金银平脱”一词，说明唐代中期时，“平脱”一名使用已广。

金银平脱漆器是一种高级生活用品。经过了安史之乱，国力衰竭，为此，唐肃宗至德年间，曾明令“禁珠玉、宝钿、平脱、金泥、刺绣”[19]。五代及宋后，此工艺便衰退下来，很少再见记载；明黄成在《髹饰录》中只提到了金银镶嵌，而未提及“平脱”之名；明方以知《通雅》卷三四在解释平脱工艺时，虽费了不少笔墨，却不知所云。

（五）螺钿漆器的空前发展

如前所云，此工艺是在素地上用漆贴螺片、贝壳，来构成装饰图纹的；部分饰片上兼雕镂刻划，使饰纹显得光彩莹润，入细入微，具有极高的艺术价值。此工艺约始见于大甸子夏家店下层文化（约相当于夏末商初），西周时期便有了较大的发展。由秦汉至南北朝时期都使用较少，及唐，又才复兴起来，并达到了相当高的水平。今日所见螺钿器多为铜镜，也有部分其他器物。主要有：

唐螺钿人物花鸟镜。1955年在洛阳16工区76号唐墓出土。圆形，直径25厘米，圆钮，主纹由镶嵌螺钿构成。钮的上方有一株枝叶繁茂的花树，树梢上一轮明月，树叶丛中有小鸟飞翔。钮的左侧端坐一手弹琵琶的老者，右侧端坐一手持酒盅的老者，以及侍女和一鼎一壶。钮下有仙鹤、水池、鸳鸯等。画面生动，人物的服饰、须发，鸟兽的羽毛都刻划精细，构图满而不塞，繁而不乱，充满了田





园生活的浓郁气息（彩版拾，3）[20]。

唐螺钿人物镜。1955 年西安东郊郭家滩第 419 号墓（贞观十四年）出土，直径 10.3 厘米[21]。

唐螺钿云龙镜。1957 年河南陕县至德六年（756 年）墓出土，直径 22 厘米，背纹为一螺钿镶嵌的盘龙，盘绕在云纹中，作昂扬飞腾状[22]。

唐螺钿宝相花镜。八出葵花形，直径 27.4 厘米，圆钮。整个镜纹皆由镶嵌的玉石、青金石、贝壳、琥珀等组成连珠座、花叶纹和连珠分区纹。后者将背纹分为内外两区，内区由四花苞，及相间的四莲叶纹组成。外区为四朵大莲枝，每朵莲枝的中间为盛开的花瓣，两侧为蔓生花苞及繁茂的叶片。日本正仓院收藏。看来，明代镶嵌工艺中的百宝嵌，与此是不无关系的。

此外，所见唐螺钿镜还有一些。如沈从文《唐宋铜镜》[23]亦著录过一枚唐螺钿宝相花镜等。至德年间禁用的"宝钿"，其具体含义不详，总之是名贵的镶嵌器，可能是多种宝物的镶嵌品，也可能就是螺钿漆器，或包含有螺钿漆器。

五代螺钿经箱。1978 年苏州瑞光寺塔出土。是嵌螺钿与金银平脱相结合的精美漆器。箱内经卷上的题记最早为吴杨溥大和三年（931 年）。箱为木胎，通身髹黑漆，用天然彩色厚螺钿镶嵌成各种花草图案，色有大红、水红、绿、黄等，整个经箱上螺钿花纹密布，如繁星闪烁。经箱须弥座的四周有凹形壶门，内施金平脱花纹，金碧辉煌，雍容华贵[24]。

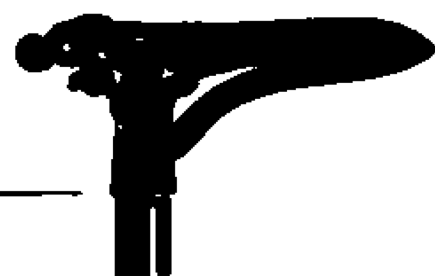
与金银平脱同样，螺钿器也是一种极为奢华的工艺品，安史之乱后便成了禁用之物。唐代之后，螺钿镜很少再现，但螺钿工艺却在一般器物中保留着，宋代仍有人提起，元代并有一定发展，明代则有过较大发展，此工艺便一直保留了下来。

**二、几种特殊的漆器工艺**

唐五代髹漆技术中成就较高的是佛像夹纻胎技术、金银平脱技术和螺钿技术，但人们对其工艺操作上的特点却知之甚少。为此，我们只能依照相关操作和相关文献作一些推测。

（一）关于夹纻胎工艺的推测

武周时期的巨型佛像早已为历史的烟尘湮没，今人难睹其尊容；之后，巨型佛像夹纻胎使用量减少。值得庆幸的是，鉴真像亦为夹纻胎制成，却一直保留了下来。鉴于中日两国文化技术上的密切关系，这对我们了解唐代髹漆佛像的夹纻工艺还是很有帮助的。鉴真死于日本天平宝字七年（763 年），子弟为其造干漆夹纻坐像一尊，像高 80.1 厘米。1937 年维修时，日本学者安藤更生和大川逞一对其内部作了一些考察。漆布很薄，多则五六层，少则三四层，漆厚处达 4.5 毫米。内部从头至腹皆涂有白粗砂。背部九分角处，有长约 27 厘米的简易井字形木框。从左肩到右腕，以"H"字形木框支撑。安藤更生认为这当是初始的构件和形态，但大川逞一依其他干漆的例子，认为砂子和木框皆为后世维修时所加进去的。一般估计佛像内原为细型木结构支撑，经年腐朽而失去。佛像两手的指头，系桧木制成。佛身作肉色，唇点朱，眉墨描，并画睫毛。头上二丝，鼻下须和颚须，皆用黑白二色点描。耳毛亦墨描。褊彩朱，横被用带黄色的朱彩涂绘。墨笔勾出袈裟





柔和的衣纹[25]。

20 世纪 50 年代时，沈福文在调查研究的基础上，曾对脱胎花瓶的工艺程序作过系统的研究和整理，对我们了解唐代夹纻胎工艺当有一定帮助。其基本步骤是[26]：

1. 制作石膏模型。此计分三步：第一步，作粗坯。以一圆钢条为轴心，缠以草绳，敷上粘土，做出泥坯，再敷一层薄石膏，是即粗坯。第二步，作"半扇形铁叶花瓶"，以作为刮削修整工具。制作法是：依花瓶设计尺寸，用薄铁皮剪成半扇形花瓶，后将之钉在刮削架上，它旋转起来后即可显示花瓶形态。第三步，刮削成型。依要求调整好粗坯和"半扇形铁叶花瓶"间的距离，将粗坯对着"半扇形铁皮花瓶"旋转，多余的石膏即被刮去，便可得到外形规整石膏模型。"半扇形铁叶花瓶"与泥坯间的距离约为二分。

2. 在石膏模型外涂刷脱模剂。此操作须在石膏模型干燥后进行。脱模剂可用浓肥皂水或胶水，稍厚为宜。

3. 刷细漆灰。在肥皂水干燥后进行。先后涂刷三次，前一次漆灰干燥后再刷第二次。细漆灰配比为：黄土细粉 55%，生漆 45%。调配法：先向细土中加入少量（如 1/4）生漆，并拌匀，之后再加入余下的生漆，并加入适量的水（如上二物总量的 10%），拌匀。

4. 刷中细漆灰。亦是三层，前次漆灰干燥后再刷下一次。漆灰配比为：生漆 40%，糯米糊 5%，瓦灰 25%，细黄土粉 30%。再以适量，如上述总量的 15% 的清水调合。

5. 刷粗漆灰。亦为三层，须前次漆灰干燥后再刷下一道。粗漆灰调配法：生漆 40%、砖瓦灰 40%、糯米糊 20%，调拌如泥状。

6. 用漆糊裱麻布。此麻布干涸后，其相接而重叠处须用刀削平。连裱 4 层，每层都要刷上薄薄的中漆灰，之后再裱麻布。

7. 再刷 3 层粗漆灰。

8. 再刷 3 层中漆灰。

9. 再刷 2 层细漆灰。

10. 再用"半扇形铁叶花瓶"来修理器形，多余的细漆灰被刮除。

11. 脱胎。即干涸后将内中钢轴、草绳、泥木取出，并把夹纻花瓶放入热水桶内，使残余的石膏层脱落下来。

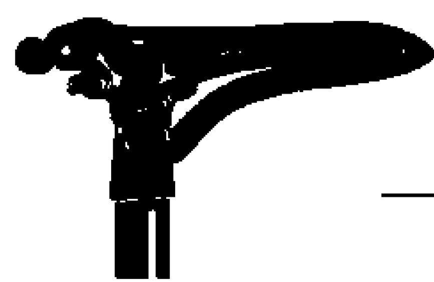
12. 打磨。工具为细磨石，里外打磨光滑后须再髹涂黑漆，待干燥后再用灰条或木炭打磨，再涂黑漆，再打磨平顺。造型即此基本完成。

13. 装饰花纹，安装底子。

脱胎法不仅可制造形制较为复杂的器物，而且强度较高，可以长时期保存[26]。

此述为花瓶脱胎工艺。不同的器物，具体造型过程自然是有区别的；圆器可用半扇形铁叶整形，而方器、佛像等则是不宜使用此法的。正如窑器中的方器不宜使用快轮一样。不过，凡脱胎器物，基本工序却应相同，故这对我们了解唐代佛像，及至其他时代一般器物的脱胎工艺，都是很有启发的。

（二）金银平脱工艺与其他饰金工艺之比较




金银平脱与金银镶嵌的比较。从道理上讲，金银镶嵌与金银平脱是有区别的，前者是将金箔贴于底漆上，之后在空白处填漆，其金银箔可以平出，亦可凸出；它强调的是嵌入工序；后者则需在前述操作的基础上，再髹面漆数重，并需晾干细磨过，其金银箔务必平出，它强调的则是花纹平出工序及其工艺效果。不过，人们在实际操作中，往往只作平脱，且将之称之为金银镶嵌，前引黄成《髹饰录》"填嵌第七"便是将"嵌金银"与"平脱"合而为一的。

青铜表面装饰工艺中，有一组名为"金银镶嵌"和"金银错"的工艺；它们之间的关系，与髹漆中的"金银镶嵌"和"金银平脱"十分相似。金银错也是一种镶嵌，"金银镶嵌"强调的是嵌入工序，"金银错"强调的则是错平工序。当然，青铜器的表面加工，与漆器表面加工是有区别的，即青铜器之镶嵌，须得通过铸造、镌凿等方式预制嵌槽，漆器镶嵌则不必如此，在底漆上粘贴金银片，再用髹漆方式找平，"嵌槽"即刻形成。青铜镶嵌之嵌槽，是可见且可摸的；漆器镶嵌之嵌槽，则是可以想象，却是难得见，难得摸的；因金箔较薄，纵使这些金银箔脱落了，其嵌槽用肉眼也不易分辨。

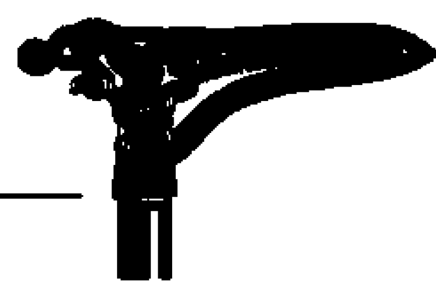
漆器表面的饰金工艺较多，前述描金、钔器、戗金、贴金、镶金，以及金银平脱等，皆属这一类型。其中的"金"一般皆指黄金；但如戗金，则可以是某种颜色类金的物质。这些饰金工艺的具体操作各有特色。从字面上看，描金、钔器、贴金，都在髹漆工艺基本完成后才进行；所以，此金粉、金片、金箔应稍高出漆器表面；戗金虽也在髹漆基本完成后进行，但其金粉须涂入刻纹中。

本章冶金、纺织、造纸部分，都谈到了唐有十四种黄金装饰工艺，即销金、捎金、镀金、织金、砑金、披金、泥金、镂金、撚金、戗金、圈金、贴金、嵌金、裹金。值得注意的是，此同一名称，往往可用于不同的行当，其中的销金、泥金、戗金、贴金、嵌金等，都是与髹漆有关的。

销金，后世又谓之洒金，即漆地上洒金片或金屑，上面再罩透明漆。金片大小、疏密各不相同[27]。《髹饰录》"罩明"第五载："洒金，一名砂金漆，即撒金也。麸片有细粗，擦敷有疏密，罩髹有浓淡。"王世襄解："据清代实物，洒金金片（有）较大的，漆地以朱、黑两色为多，但也有紫色、绿色或其他色漆的。""金片细密如沙的，多以紫色漆为地（因隔着罩漆看，故颜色较深）。这种做法多作为器物的漆地或里子。在上面还要加以描金或堆漆等其他文饰，一般不独自存在。"[28]销金在纸张加工中也有使用，本章"造纸技术"部分曾经提及，操作自不相同。

泥金。指漆器周身粘贴稍厚的金。明黄成《髹饰录》"质色"第三"金髹"云："又有泥金漆，不浮光。"王世襄解云："泥金也是周身粘金，但粘金的方法与贴金不同，要厚一些。"[29]"泥金"之名在织物等装饰中也有使用。

戗金。工艺操作大约与镶金相类似，《髹饰录》"铨划"第十一："铨金，铨或作戗，或作创，一名镂金、铨银。朱地黑质共可饰"。依明代黄成之说，在漆器工艺中，"镂金"也即是"戗金"。但在唐代，镂金是否等同于戗金，恐则未必。因唐"十四种金"中，便同时包括了镂金和戗金。所以我们推测，唐"十四种金"中的镂金，很可能是指金属加工，而不是漆器加工。王嘉《拾遗记》卷七："（魏文）帝以车十乘迎之，皆镂金为轮辋。"





（三）关于螺钿工艺的几种不同类型

前面谈到，有学者认为，螺钿是指镶嵌蚌片的，镶嵌蚌泡则不能叫做螺钿工艺[30]。又有学者认为，“螺钿镶嵌实际上也是一种平脱”。我们认为：这两种说法都是值得商榷的。凡镶嵌蚌贝类物者，不管是泡状还是片状，皆可谓之螺钿；这在第二章已经谈到；说“平脱”是一种镶嵌犹可，说镶嵌也是一种平脱则未必全面。

从钿螺形态和花纹之平凸上看，我们认为螺钿工艺当可区分为三种不同的工艺形态，即（1）镶嵌蚌泡，其泡凸起，加工稍见粗糙，始见于夏末商初，主要使用于商西周。（2）镶嵌蚌片等，其片凸起，始见于商代晚期，并一直沿用了下来。（3）镶嵌蚌片等，其纹平出。出现年代稍晚。我们认为所谓“螺钿镶嵌也是平脱”之说，应当是相对于这种花纹平出工艺来说的，它是螺钿工艺的一种。

从明代《髹饰录》的记载来看，螺钿工艺还可依螺片加工形态，再往下细分为多种不同的工艺操作，如依螺片之厚薄，可分为厚螺钿和薄螺钿；依螺片下是否垫饰金银片，又可区分为垫金螺和未垫金螺；依螺片加工后能否使花纹显现浮雕状，又可区分为“镌甸”和非“镌甸”。但这是明代的分法。因唐代文献记载和今人对唐螺钿漆器的报道，都十分的简单，唐代是否能进行这些较细的分类，眼下很难判断。目前仅知直到唐宋为止，螺片都是较厚的，大体皆属厚螺钿范围。这些，后面还要提到。

（四）雕漆工艺的初步发展

“雕漆”之名是清人之说，明黄成谓之“剔红”。工艺要点是：用笼罩漆调银朱，在漆胎上逐层积累到一定厚度，再用刀雕刻出花纹来。其实除剔“红”外，还有剔黄、剔绿、剔黑、剔彩的；但皆用“剔红”之名。从雕漆刀口的断面，便可知施漆的道数[31]。

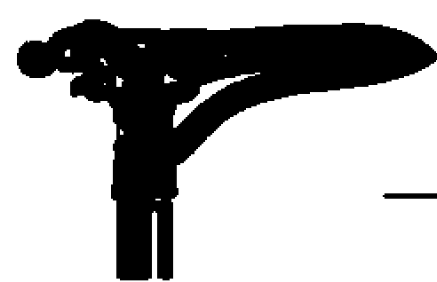
雕漆技术至迟发明于后赵时期，此前孙吴朱然墓出土的犀皮漆器应是一种特殊的雕漆产品。唐五代时期，雕漆技术有了进一步发展，上面提到的前蜀衬银漆碟，外层表面极为粗糙，虽漆层业已脱落，仅余痕迹；冯汉冀认为，此漆碟为银铅胎骨，应即是后世文献中的“金银胎剔红”器；虽因漆层脱落，而不能推见它的雕镂情形[8]。但结合宋代相类似的漆器出土情况，其为剔红当属可信。

明黄成《髹饰录》“雕镂”第十也谈到过唐代雕漆：“剔红，即雕红漆也。……唐制多印板刻平锦朱色，雕法古拙可赏。复有陷地黄锦者。”杨明注：“唐制如上说，而刀法快利，非后人所能及，陷地黄锦者，其锦多似细钩云。”[32]这里说到了唐代剔红，即雕漆技术。虽唐代实物迄今未见，因我国在后赵时期便有了雕漆工艺，此说自是可信。

（五）犀皮工艺的发展

犀皮漆器至迟发明于三国时期，唐代便有了一定的发展。这既有实物资料，也有文献资料为凭。

1906年，斯坦因（M. A. Stein）在米兰堡（Fort Miran）发现了一片唐代的皮甲片，甲片可能用骆驼皮制成，各片均作长方形，大小不一，长约2～4英寸余，宽2英寸余。两面髹漆，或至7层，以朱、黑两色为主，也施暗红、棕褐及黄色





漆。甲片上的花纹有同心圆圈、椭圆圈和近似逗号及倒置的S形等几何花纹。这种花纹是使用刮擦法透过不同的漆层而获得的[33]。这是迄今所知唯一的唐代犀皮实物。

唐代文献上还有过犀皮枕的记载。唐代袁郊《甘泽谣》载：至德（756~758年）之后，异人红线深夜潜入田家，“田亲家翁止于帐内，鼓趺酣眠，头枕文犀”[34]。此文犀，当即犀皮枕。

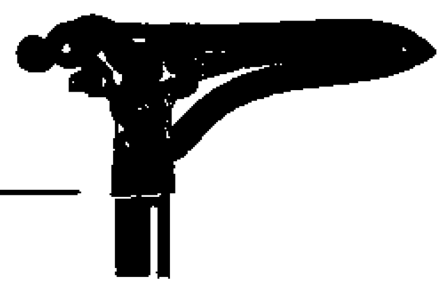
宋曾三异《因话录》还对“犀皮”名称的由来和含义进行了探讨，云:“髹器称西皮者，世人误以为犀角之犀，非也。乃西方马鞯，自黑而丹，自丹而黄时，复改易五色相叠。马镫磨擦有凹处，粲然成文，遂以髹器仿为之。”[35]此说到了“犀皮”起源的两种观点，孰是孰非，今已难得分辨。但这条文献至少说明，犀皮工艺在民间已流传了相当长一个时期。从道理上讲，一项技术的发明，无非是内因和外因的作用；早在商周时期，人们就在同一件器物上使用了多种不同的色漆，偶尔也会重重叠叠的，于是，人们在其断口上，或磨损面上，便会看到一种近于重圈状的奇妙花纹，人们有意地将其利用起来后，就成了犀皮工艺。我们认为，漆器装饰中的犀皮工艺，与钢铁加工中的花纹钢工艺、陶瓷技术中的绞胎工艺，在技术思想和操作原理上，都是互相关联的。这些成花技术的产生和发展，也可能受到过某种外来因素的影响，但我国本身的技术条件，是可以发明出这些成花工艺的。

## 第十一节 玻璃技术的发展

隋唐是我国古代玻璃技术发展的重要阶段，在经历了先秦、两汉的发展后，高钡玻璃在隋唐时期基本上已经消失，高铅玻璃的主导地位进一步确立。吹制工艺普遍推广，先秦、两汉那种以珠饰为主的状态得到了完全的改变，生产了种类更多的器皿。

### 一、玻璃容器品种之扩展

隋唐玻璃器在黑龙江宁安[1]，辽宁朝阳[2]，河南洛阳、郑州[2][3][4]，陕西西安[5]、三原[6]、耀县，甘肃泾川[7]，湖北郧县[2]，湖南长沙[8]，新疆吐鲁番[9]，广西钦州[10][11]，江苏扬州等地都有出土[12]，但数量远较汉代为少，分布亦无汉代那样集中。今见于考古发掘的主要有瓶、盒、罐、杯、珠、罗汉像等；与汉代相比较，容器种类增多，器形稍见复杂，珠饰大为减少。其中较值得注意的有：陕西西安隋代李静训墓出土玻璃器8件，即绿色玻璃盒1件、绿色蛋形器2件、草绿色管形器1件、绿色小杯1件、深绿色无颈瓶1件、绿色扁瓶1件、蓝色小杯1件，其中有5件是器皿[5]，有学者认为其皆具有国产器物的传统风格。唐李泰墓出土玻璃器4件，皆为容器，2件为黄色矮颈瓶，2件为绿色的玻璃瓶和玻璃杯[2]，有学者认为其皆具有国产器物的风格[13]。至20世纪80年代为止，见于考古发掘的隋唐玻璃容器约30件上下，比较值得注意的品种有玻璃瓶、玻璃盒、玻璃罐，这些器物此前都是较少的。玻璃珠在陕西乾县[14]、辽宁朝阳[2]都有出土，乾县一次曾出土过157件。汉代出土玻璃器较多的地方是两广一带，唐代却移到了



关中和中原。下面仅对几种主要器物作一简单介绍。

玻璃盒。西安隋李静训墓出土1件，绿色而透明；表面大体光洁，无腐蚀层。小圆口，圜底，口上有圆形盖。盖与盒的质地相同，唯表面已经风化，其色黄白，有彩虹现象，与其形制相类似的瓷盒在同一墓葬[2][5]，或者其他隋代墓葬中都可看到。

玻璃瓶。隋唐墓都有出土，是此期器皿中所见较多的一种。有国产的，也有进口的；有日用玻璃瓶，也有舍利瓶；形制亦有不同。隋李静训墓出土有玻璃瓶二，皆呈绿色，一件作扁平状，一件无颈；前者质地较好，制作工精；后者质地较粗糙，气泡和杂质较多，透明度较差，器壁亦稍厚[5][13]。甘肃泾川[7]、黑龙江宁安[1]，以及西安东郊开元八年舍利塔基[13]，都出土过唐玻璃舍利瓶。泾川玻璃舍利瓶无色透明，长颈，球形腹，底微凹，器壁不足1毫米；瓶的内底表层已经风化，色白，边缘色黄；瓶内装舍利子，瓶外有金棺、银函、铜函、石函。洛阳关林唐墓出土一件玻璃细颈瓶，其色翠绿而透明，表层风化，色金黄，球腹，底微凹。有学者认为它是伊朗高原的萨珊玻璃[13]。

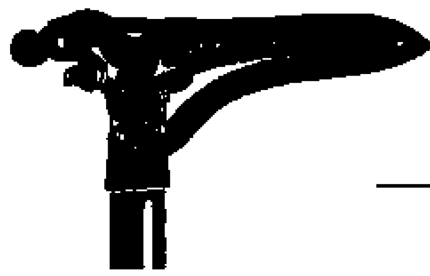
玻璃杯。汉代便已生产，隋唐时代在陕西西安隋李静训墓[5]、郭家滩姬威墓[15]、湖北郧县李泰墓[2][13]、广西钦州隋唐墓[10]等都有出土。李泰墓出土玻璃杯1件，绿色透明，气泡较多，表面附有白色风化层。直口直壁，圈足，口沿火烧成圆唇。其形制与唐代青瓷杯十分的相似。西安何家村唐代窖藏出土凸弦纹玻璃碗1件，平底侈口，口沿外翻卷成圆唇，口沿下有一阳弦纹，腹部有八组纵三枚纹，无色透明，稍泛蓝绿色，有学者认为它可能是来自伊朗高原的萨珊玻璃[16][13]。

玻璃罐。西安郭家滩姬威墓等都有出土。郭家滩罐高6厘米，口径3厘米，相伴出土的还有小杯2件，皆质坚胎薄，色嫩绿、半透明，表层风化，色淡绿且泛白。

扬州玻璃残片。1990年扬州唐代中晚期居住址出土一批玻璃残片，其中面积大于2厘米$^2$的便有190块，表面皆呈现不同程度的风化，皆透明，主要有绿、淡绿、深蓝、黄、黄绿色，及无色。其中绿色者计153片，无色透明者7片。经复原，器形有鼓腹水瓶、香料瓶、直筒瓶、胆形瓶、碗或盆等。厚度不尽相同，绿色玻璃片为1~1.5毫米，浅绿色玻璃片为0.3~0.9毫米。一般认为这些残片多属伊斯兰制品[12]。

总的来看，隋唐玻璃容器以小件居多，以薄壁（2毫米左右）者为众，显得十分的小巧玲珑，造型上基本保持了我国日用器、饰器的传统风格。此时，伊斯兰玻璃已较多地传入我国，如陕西扶风法门寺唐乾符元年（874年）地宫，所出完整无损的玻璃器皿计约20件，除茶托子是典型的国产品和几件素面盘子目前尚难确定外，其余的可能都是伊斯兰产品，其中包括贴花盘口瓶1件、刻花蓝玻璃盘6件、印纹直桶杯2件、彩釉盘1件等[17]。这对我国玻璃技术自然会产生一定影响。

除上所述，在文献记载中还有玻璃窗。唐王棨《瑠璃窗赋》有云："彼窗之丽者有瑠璃之制焉，洞澈而光凝秋水，虚明而色混晴烟。"[18]此"瑠璃窗"，当为玻璃窗无疑。但可能透明度稍差。





还有一事值得一提的是，何稠对隋唐玻璃、琉璃技术的贡献，学术界是有不同看法的，这主要是文献记载不清之故。《隋书》卷六八“何稠传”载：何稠，字桂林，性绝巧，有智思，用意精微。“开皇初授都督，累迁御府监，历太府丞。稠博览古图，多识旧物。波斯尝献金緜锦袍组织殊丽，上命稠为之，稠锦既成，踰所献者，上甚悦。时中国久绝琉璃之作，匠人无敢厝意，稠以绿瓷为之，与真不异”。对文中提到的“琉璃”，有学者认为它是玻璃[19]，有学者则认为它是今俗之琉璃[20]，而且双方都列举了一些理由。前述《魏书·西域传·大月氏》条也有同样的问题，我们认为，两说是非难辨，皆须进一步研究。但不管怎样，有两点是可以肯定的：（1）不管玻璃还是琉璃，在本例中都是作为建筑装饰材料的，故何稠对隋代建筑装饰材料生产是作出了重要贡献的。（2）文中提到的“琉璃”以绿瓷为之，当是以铜作色的，这对我们了解隋代的玻璃、玻璃工艺都是有益的。

## 二、高铅玻璃进一步确立

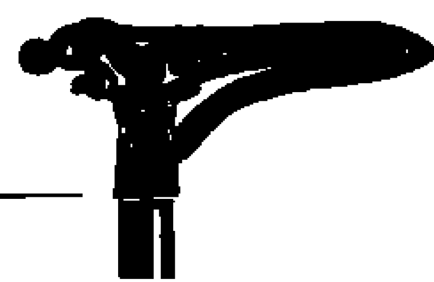
### （一）从科学分析看隋唐玻璃的成分体系

**表 5－11－1　　唐代玻璃成分分析**

| 出土处、名称、颜色 | 成分(%) | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | PbO | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | MnO | |
| 广西钦州隋玻璃杯 | 34.92 | 62.1 | 1.57 | | | | | 1.43 | | | [11] |
| 辽宁朝阳唐高英淑墓玻璃珠表层中心，风化，绿色透明 | 26.08 | 68.51 | | 0.26 | 0.18 | 0.09 | 0.06 | 0.29 | 0.41 | | [2] |
| 湖北郧县唐李泰墓黄色矮颈玻璃瓶 | 30.49 | 64.23 | 1.61 | 0.33 | 0.2 | 0.3 | 0.27 | 0.31 | | | [19] [24] |
| 唐玻璃小佛像，琥珀色，中度风化 | 19.6 | 75.0 | 1.03 | 2.52 | 1.0 | 0.32 | 0.01 | 0.2 | 0.12 | 0.096 | [22] |
| 唐玻璃小佛像，浅绿色乳浊状，中度风化 | 21.3 | 75.9 | 0.17 | 0.16 | 0.28 | 0.11 | 0.01 | 0.21 | 0.2 | 0.003 | [22] |
| 唐琥珀色玻璃珠 | 29.0 | 67.4 | 0.47 | 2.14 | 0.25 | 0.11 | 0.01 | 0.33 | 0.15 | 0.02 | [22] |
| 陕西三原唐李寿墓绿色玻璃瓶，吹制 | 36.16 | 46.65 | 2.42 | | 1.09 | 2.84 | 0.95 | 10.01 | | | [23] [24] |
| 河南洛阳关林唐墓 M118 翠绿细颈瓶 | 62.70 | | 2.75 | 1.05 | 6.57 | 4.84 | 2.6 | 18.11 | | 0.04 | [19] [24] |
| 湖北郧县唐李泰墓绿色高颈玻璃瓶 | 61.58 | | 1.66 | 0.69 | 6.27 | 6.43 | 3.53 | 17.86 | | | [19] [24] |
| 唐模制蝉碎片，无色，混浊，轻度风化 | 62.8 | 0.01 | 4.91 | 0.41 | 16.9 | 4.12 | 1.15 | 9.2 | 0.03 | 0.009 | [22] |
| 唐模铸浮雕发针头，无色稍浊，中度风化 | 65.1 | 0.37 | 1.96 | 0.56 | 10.6 | 2.71 | 9.76 | 8.84 | 0.01 | 0.024 | [22] |
| 新疆若羌县玻璃 | 51.11 | | 9.57 | 1.89 | 5.27 | 4.79 | 6.4 | 16.89 | | 0.05 | [21] |
| 唐发针头乳白色，轻度风化 | 64.4 | 0.07 | 1.51 | 0.5 | 18.7 | 5.49 | 8.07 | 0.99 | 0.005 | 0.008 | [22] |
| 唐扬州绿色透明玻璃 | 64.95 | | 2.51 | 0.49 | 5.09 | 6.44 | 2.61 | 15.62 | | 1.72 | [12] |
| 唐扬州淡绿色透明玻璃 | 67.74 | | 2.17 | 0.71 | 5.22 | 5.72 | 3.58 | 13.68 | | 0.58 | [12] |

注：除表中所列，新疆唐若羌县玻璃和洛阳关林唐墓细颈瓶尚分别含 $TiO_2$ 0.11%和0.15%。辽宁唐高英淑墓玻璃珠含 $MnO_2$ 0.02%。文献［22］所引样品中，有的尚含有少量、微量 $Sb_2O_5$、$SnO_2$ 等，以及0.1%以下的 BaO，略。文献［12］所引唐扬州绿色透明玻璃含 Cl 0.54%。

表5－11－1是15件隋唐玻璃器定量分析结果。试样分别出土于陕西、湖北、河南、辽宁[2]、新疆[21]、广西[11]等地，有国内学者分析的，也有国外学者分析



的[22]。其成分大体上包括3系8型。

1. 铅系，2型7件。

$PbO-SiO_2$ 型，6件，即广西钦州隋代玻璃杯、湖北郧县唐代小瓶、辽宁唐高英淑墓玻璃小珠，以及国外学者分析的2尊佛像和1枚小珠。占试样总数的46.7%。含PbO量为62.1%～75.9%，平均68.86%。

$PbO-Na_2O-SiO_2$ 型，1件，即陕西三原唐李寿墓玻璃小瓶。PbO和 $Na_2O$ 含量分别为46.65%和10.01%。

经X射线荧光分析，隋李静训墓绿玻璃盒（及其器盖）含铅量较高，不含钡[19]，亦属铅玻璃范围。虽此器未作定量和半定量分析，仍统计在7件之内。

2. 钠系，3型5件。

$Na_2O-MgO-CaO-SiO_2$ 型，3件，即湖北郧县另一件唐代小瓶、唐扬州居住址所出绿色玻璃片、浅绿色玻璃片。

$Na_2O-CaO-MgO-SiO_2$ 型，1件，即河南洛阳关林唐细颈瓶。

$Na_2O-K_2O-CaO-SiO_2$ 型，1件，即新疆若羌玻璃。

经X射线荧光分析，李静训墓的2件玻璃小杯和无颈瓶亦为钠钙玻璃[19]，但未计入此5件之内。

3. 钙系，3型3件。

$CaO-Na_2O-MgO-SiO_2$ 型，1件，唐模制蝉片。

$CaO-K_2O-Na_2O-SiO_2$ 型，1件，即发针头。

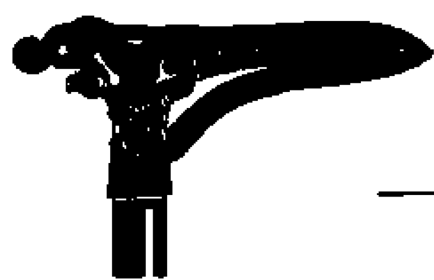
$CaO-K_2O-MgO-SiO_2$ 型，1件，即另一件发针头。

总的来看，这15件玻璃的化学成分具有如下几个特点：（1）铅玻璃的比例较先秦、两汉都明显增加，此计2型7件，占此期标本总数的46.7%。这应是唐代玻璃的主要体系。（2）高钡玻璃、铅钡玻璃未曾再见。钾玻璃亦未看到，不知是否与随机取样有关；但从后述文献记载看，此期我国似生产过一部分钾钙玻璃。（3）钠系玻璃似有增加，计3型5件，占此其标本总数的1/3。其中多数当系外来；有学者认为其中李泰墓绿色小瓶当系国产[13]，依此，这便是较早的国产玻璃器皿之一；但钠钙玻璃在我国的技术地位此时尚未确立。（4）多件标本含CaO较高。

铅玻璃的优点是折射率较高，故光泽较好，现代光学玻璃和一些装饰玻璃中往往皆有意识地加入一定的氧化铅。其缺点是化学稳定性较差，故出土铅玻璃常呈现一个黄白色的风化层。

（二）文献记载的玻璃原料

孙思邈《太清丹经要诀》[25]有一段关于玻璃生产的记载，对我们了解唐代玻璃成分选择是很有帮助的。其“造白玉法”条载：“取大蛤蒲捣为末，细研之，取一斤内竹筒中，复内消石，密固之，内左味中，二十日成水。后取白石英半斤，捣作末投筒中即凝，出之，好炭火火之令赤，即成白玉。”大蛤蒲，蛤蚌壳，主要成分是碳酸钙 $CaCO_3$。硝石，一般指钾硝石，但古人有时将硫酸钠、及至硫酸镁，也都混称为硝石[26][27]。左味，醋。此述虽较简单，但大体轮廓还是勾画出来了。此制作“白玉”的主要原料是蛤蚌壳、“硝石”。故此人造“白玉”应是钾钙玻璃





$K_2O-CaO-SiO_2$，这正好弥补了上述科学分析之不足。

**三、玻璃吹制技术的发展**

此期的玻璃成型工艺主要是两种，即传统的范铸法和新兴的吹制法[28]，在吹制成型过程中，使用了铁棒技术。

范铸法出现于先秦时期，隋唐时期虽无创新和进步，但未曾停止。所见器物如陕西乾县南陵村僖宗靖陵的龙凤纹玻璃佩饰和璧，以及大量的玻璃彩珠、串珠等[28]。

我国古代玻璃的吹制技术约始见于北魏时期，河北定县北魏塔基（481 年）出土的 3 件玻璃葫芦瓶、2 件玻璃瓶、1 件玻璃钵、1 件残玻璃器底，都是无模自由吹制的，其外形皆具有明显的中国风格[29][13]。隋唐时期，此技术开始推广开来，大家较为熟悉的此期吹制器物有：陕西三原李寿墓小瓶、西安李静训墓无颈瓶、小盒、小杯、管形器、蛋形器，甘肃泾川舍利瓶、湖北郧县李泰墓玻璃杯、矮颈瓶、高颈瓶等。从实物考察来看，吹制成型后，有的采用过玻璃条缠粘圈足和口沿的技术，如李静训墓绿扁瓶等；有的曾经冷磨，如李静训墓小盒、蛋形器等，因其未经抛光，故磨痕依然可见；有的曾经镀金，如李静训墓一件稍大的蛋形玻璃器孔洞处等[13]。在国产玻璃器中，质色较好的要算李静训墓绿色扁瓶，绿色透明，气泡和结石很少，比较接近西方的先进水平[13]。

“铁棒技术”是容器吹制过程中的一项重要操作。容器吹制成型后，须从吹管上剪下，以对口沿进行加工，为此便须用铁棒粘住容器底部，以将之从吹管上剪下。因铁棒粘结，器底外便留下了一个疤痕，此疤痕便成了铁棒技术的证据。这种疤痕在我国始见于隋李静训墓玻璃器，该墓计出 8 件完整的玻璃器，皆属无模自由吹制，但绿玻璃盒、蛋形器和管形器底部没有疤痕，说明其未采用铁棒技术；而绿色扁瓶、无颈瓶和蓝色小杯、绿色小杯则底部有疤痕，说明加工时曾采用铁棒技术[19]。

今再归纳一下隋李静训墓玻璃，因它在隋唐时期很有代表性。此墓计出 8 件完整的玻璃器，皆为国产，皆为无模自由吹制；其器型计分两类：即器皿，5 件（盒 1 件、瓶 2 件、杯 2 件）、其他 3 件（蛋形器 2 件、管形器 1 件）；其成分至少有两种，一是铅玻璃，即盒等，二是钠钙玻璃，即 2 件杯、1 件瓶等；其吹制操作亦有两种类型，即盒、蛋形器、管形器 4 件未使用铁棒技术，其他 4 件则使用了铁棒技术。这些情况反映了国产玻璃容器的发展，吹制技术的推广，铁棒技术的使用和多种成分体系并存。

但从总体上看，隋唐玻璃技术还是不太稳定的，相当部分产品的气泡依然较多，这也可能与人们对玻璃技术重视不够等因素有关。我国古代的玉器技术、青铜技术、瓷器技术、漆器技术，工艺水平都是较高的，说明在这些行业中，都有许多十分优秀的人才，他们为此付出了大量的时间和精力。

**四、关于玻璃的名称**

我国中原文化区的玻璃技术约发明于春秋晚期，在战国、两汉都有一定的发展，对人们的社会生活产生过一定影响。但在相当长一个时期内，我国玻璃并无固定名称。人们此时仍常用“流离”一词来称呼玻璃，但它同时还有其他含义。



虽《魏书》和部分唐代文献都提到过“颇黎（棃、梨）”一词，但直到唐代为止，它指的很可能还是宝石。

（一）关于“流璃”

直到唐代，人们依然认为“流离”有两种[30]，一种是自然之物，当指水晶或其他宝石；一种是人造之物，即“销石汁，加以众药，灌而为之”者，当即玻璃。

《汉书·西域传》“罽宾国”条，说罽宾国出流离，唐颜师古注“流离”云：“此盖自然之物，采泽光润，踰于众玉，其色不恒。今俗所用，皆销石汁，加以众药，灌而为之，尤虚脆不上贞，实非真物”。可知，唐代大注释家颜师古将流离区分了两种类型，一是自然之物；二是加药销石灌成。

这一认识在部分考古实物中也有反映。西安何家村窖藏物中，一个提梁大银罐内装有一件圆圈纹玻璃杯和一件水晶碗，而罐盖里面题记却为：“琉璃盃碗各一”[31]。显然，这是把水晶和玻璃都称作了琉璃。

（二）关于“颇梨”、“颇黎”、“玻瓈”

这几个形、音相近的词约出现于北魏时期，但这几个词的来源、本义，从《魏书》简单记载中都很难得到明确了解。

唐玄应《一切经音义》卷二四载：“颇胝加，陟尸反，亦言婆破致迦，西国宝名也。旧云颇梨者，讹略也；此言水玉，或言白珠。大论云：‘此宝出石窟中，遇千年冰化为颇梨珠。’此或有也。但西国极饶此物，彼乃无冰，以何为化？但石之类耳。”[32]可知“颇梨”、“颇胝”原是梵言“颇眡迦”、“婆破致迦”，即是水玉，属石之类，即一种宝石。此书撰于贞观年间，计25卷。

慧琳《一切经音义》卷二七在解释“颇黎”时也有类似的说法：“此云水精，又云水玉，或云白珠。大智度论中，此宝出山石窟中，一云过千年冰化为之，此言无据，西方暑热，上地无冰，多饶此宝，何物化焉？此但石类，处处皆有也。”此书撰于元和年间，采玄应及诸家音义而成，计100卷；其也承袭了“颇黎是宝石”的观点。

类似的说法对后世影响较大。《重修政和经史证类备用本草》卷三条引唐陈藏器云：玻瓈，“此西国之宝也，是水王（玉），或云千岁冰化为之，应玉石之类，生土石中，未必是冰”。《本草纲目》卷八“玻瓈·集解”所引略同。

这一观点在考古实物题记中也得到了证实。何家村窖藏所出提梁大银罐的罐盖里面题记又有“颇黎等十六段”字样，经查，罐内所装之物有蓝宝石七块、紫宝石两块、翠玉六块、黄精一块，正好十六块[31]。

自然，唐温庭筠（812～？年）《菩萨蛮》所云：“水精帘里颇黎枕，暖香惹梦鸳鸯锦。”[33]其中的“颇黎”也应是一种宝石。

可知在唐人眼中，颇黎，并非玻璃，而是宝石、美玉一类。“颇黎”具有玻璃的含义，那是唐代之后的事。

# 参考文献


## 第一节　采矿技术的繁荣

[1] 夏湘蓉等:《中国古代矿业开发史》第70页，地质出版社，1980年。

[2]《二十五史》未提到“邓州”。

[3] 泰安市文物考古研究室等:《山东省莱芜市古铁矿冶遗址调查》，《考古》1989年第2期。

[4] 河南省文物研究所等:《河南省五县古代铁矿冶遗址调查》,《华夏考古》1992年第1期。

[5] 杨立新:《皖南古代铜矿初步考察与研究》,《文物研究》第3辑，1988年。

[6] 南京市博物馆:《南京九华山古铜矿遗址调查报告》,《文物》1991年第5期。

[7] 李延祥等:《九华山唐代炼铜炉渣研究》,《自然科学史研究》1996年第3期。

[8] 鲍艺敏等:《浙江淳安铜山唐代矿冶遗址》,《南方文物》1997年第3期。

[9] 清汤球:《九家旧晋书辑本》三,《丛书集成初编》三八〇八。

[10]《本草纲目》卷八“金石·金·集解”。

[11] 夏湘蓉等:《中国古代矿业开发史》第305~306页，地质出版社，1986年第2次印刷。

[12] 卢本珊等:《中国古代金矿的采选技术》,《自然科学史研究》1987年第3期。

[13]《御定佩文斋咏物诗选》卷一八〇。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第439碟。

[14] 山西省文物管理委员会等:《山西长治唐代舍利棺的发现》,《考古》1961年第5期。

[15] 明彭大翼:《山堂肆考》徵集卷一八三“器用·酒”。

[16]《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第336碟。

[17]《新唐书·食货志四》。

[18] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。日本人藏唐镂牙尺相当于今0.311米。

[19] 释文莹:《玉壶野史》卷三、文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。此书之名称，一般作《玉壶清话》。

[20]《本草纲目》卷九“金石·石脑油·集解”。

## 第二节　冶金技术的持续发展

[1] 夏淑蓉等:《中国古代矿业开发史》第70页，地质出版社，1980年。

[2] 胡悦谦:《繁昌县古代炼铁遗址》,《文物》1959年第7期。

[3] 南京博物院:《利国驿古代炼铁炉的调查情况及清理》,《文物》1960年第4期。珍珠泉水塔附近为唐宋炼炉址。

[4] 泰安市文物考古研究室等:《山东省莱芜市古铁矿冶遗址调查》，《考古》1989年第2期。

[5] 河南省文物研究所等:《河南省五县古代铁矿冶遗址调查》，《华夏考古》1992年第1期。

[6] 钱宝琮校：《算经十书》，中华书局，1963年。

[7]《云笈七签》卷七八引。

[8]《文苑英华》卷一〇九。

[9] 杜茀运：《隋唐墓出土铁器的研究》，全国冶金技术史学术讨论会论文，河南舞阳，1989年。

[10] 南京博物院等单位发掘工作组：《扬州唐城遗址1975年考古工作简报》，《文物》1977年第9期。南京博物院：《扬州唐城手工业作坊遗址第二、三次发掘简报》，《文物》1980年第3期。

[11] 南京市博物馆等：《南京九华山古铜矿遗址调查报告》，《文物》1991年第5期。

[12] 李延祥等：《九华山唐代炼铜炉渣研究》，《自然科学史研究》1996年第3期。

[13] 杨立新：《皖南古代铜矿初步考察与研究》，《文物研究》第3辑，1988年6月。

[14] 杨立新：《安徽沿江地区的古代铜矿》，《文物研究》第8辑，1993年10月。

[15] 鲍艺敏等：《浙江淳安铜山唐代矿冶遗址》，《南方文物》1997年第3期。

[16] 李时珍：《本草纲目》卷八"金石·赤铜"条引。

[17]《丹房镜源》原未具作者名，在今人编纂的《道藏》"提要"和"引得"中，亦无它的篇名；其唯见于《铅汞甲庚至宝集成》卷四（涵芬楼影印本第595册），该文第3页。独孤滔《丹方鉴源》见《道藏》第596册。

[18] 郭正谊：《水法炼铜史料新探》，《化学通报》1983年第6期。

[19] 陕西省文物管理委员会：《陕西省出土铜镜》，文物出版社，1959年。

[20] 明陈仁锡：《潜确居类书》卷九三，此书又名作《潜确类书》。清康熙年间的陈元龙《格致镜原》卷三四亦引。

[21] 何堂坤：《中国古代铜镜的技术研究》第37页，中国科学技术出版社，1992年。

[22] 李秀辉等：《青海都兰吐蕃墓葬出土金属文物的研究》，《自然科学史研究》1992年第3期。

[23]《重修政和经史证类备用本草》卷四"雄黄·宝藏论"条引。

[24]《重修政和经史证类备用本草》卷四"雌黄·宝藏论"条引。

[25]《重修政和经史证类备用本草》卷五"砒霜·青霞子"条引。

[26] 王奎克等：《砷的历史在中国》，《自然科学史研究》1982年第2期。

[27] 赵匡华等：《我国金丹术中砷白铜的源流与验证》，《自然科学史研究》1983年第1期。

[28] 见《道藏》洞神部众术类，第590册，该文卷上第19页。

[29] 见《道藏》洞神部众术类，第596册，涵芬楼影印本。

[30] 何堂坤等：《安徽出土铜镜成分分析》，《文物研究》第2辑，1986年。

[31] 小松茂、山内淑人：《东洋古铜器の化学的研究》、《古镜の化学的研究》，分别载于《东方学报》1933年京都版第3册、1937年京都版第8册。

[32] 近重真澄：《东洋古铜器の化学研究》，《史林》第3卷第2号，1918年。

[33] 梅原末治：《欧米における支那古镜》，第103页，1931年。波士顿博物馆藏品，据说出于成都。

[34] 周欣、周长源：《扬州出土的唐代铜镜》，《文物》1979年第7期。

[35] 王琎等：《中国古代金属化学及金丹术·附录》，中国科学图书仪器公司出版，1955年。3枚。

[36] 赵匡华等：《北宋铜钱化学成分剖析及夹锡钱初探》，《自然科学史研究》1986年第3期。5枚。

[37] 水上正胜：《志海苔出土古钱的金属成分》，《中国钱币》1985年第3期，阿祥译。10

枚。石野亨:《铸造技术の歷史と源流》第247页，株式会社產业技术センター，1977年。4枚。

[38] 赵匡华:《我国古代“抽砂炼汞”的演进及其化学成就》,《自然科学史研究》1984年第1期。

[39]《道藏》洞神部众术类，总第584册。

[40]《道藏》洞神部众术类，总第587册。

[41]《道藏》洞神部众术类，总第586册。

[42]《道藏》总第491册，涵芬楼影印本，1923~1926年。

[43] 陕西省博物馆等:《唐郑仁泰墓发掘简报》,《文物》1972年第7期。

[44]《道藏》总第192册。

[45] 陈国符:《道藏源流续考》，明文书局，1983年。

[46] 祝寿慈:《中国古代工业史》第372页，学林出版社，1988年。

[47] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。

[48] 山东省淄博市博物馆:《西汉齐王墓随葬器物坑》,《考古学报》1985年2期。

[49]《山西通志》卷五九“古迹”，雍正十二年（文渊阁《钦定四库全书》抄本第49册，武汉大学出版社电子版第231碟）。《张燕公集》卷一二（文渊阁《钦定四库全书》抄本第3册，武汉大学出版社电子版第401碟）。关于架设铁索桥的时间，前者说为开元二十二年，后者说为开元十年，今从后说。

[50] 樊旺林等:《唐铁牛与蒲津桥》,《考古与文物》1991年第1期。王泽庆:《唐蒲津桥与黄河铁牛铁人》,《中国文物报》1991年5月26日第3版。李福昌:《蒲津铁牛壮山河》,《北京晚报》1992年1月8日。

[51] 吴坤仪等:《沧州铁狮的铸造工艺》,《文物》1984年第6期。

[52] 曹英杰:《沧州铁狮子迁居，吊车解开重量之迷》,《北京晚报》1984年11月27日。

[53] 姬乃军:《我国存世最早的唐钟——陕西富县宝室寺铜钟》,《考古与文物》1983年第1期。

[54] 李述方:《汉宋间云南冶金业》,《学术研究》1962年第11期（社会科学报）。

[55] 何堂坤:《我国古代铁镜技术初步研究》,《中国国学》第20期，台湾，1992年。

[56] 苗长兴等:《从铁器鉴定论河南古代钢铁技术的发展》,《中原文物》1993年第4期。

[57] 何堂坤等:《由金相分析看鄂城铜镜的热处理技术》,《江汉考古》1988年第3期。

[58] 何堂坤等:《安徽出土铜镜金相分析》,《文物研究》第3辑，1988年。

[59] 何堂坤:《几枚水银沁镜的科学分析》,《考古与文物》1991年第1期。

[60] 何堂坤:《中国古代铜镜的技术研究》第136~168页，中国科学技术出版社，1992年。

[61] 史树青:《古代科技事物四考》,《文物》1962年第3期。

[62] 上海交通大学西汉古铜镜研究组:《西汉“透光”古铜镜研究》,《金属学报》1976年第1期。

[63] 孙淑云等:《中国古代铜镜显徽组织的研究》,《自然科学史研究》1992年第1期。

[64] 何堂坤:《古青铜热处理模拟试验》,《自然科学史研究》1994年第1期。

[65] 何堂坤:《关于镔铁的产地和工艺》,《中国国学》第25期，台湾，1997年。

[66] 陕西省博物馆革命委员会写作小组:《西安南郊何家村发现唐代窖藏文物》,《文物》1972年第1期。

[67] 丹徒县文教局等:《江苏丹徒丁卯桥出土唐代银器窖藏》,《文物》1982年第11期。其中，1980年出土银锭20笏，1982年在同一地点出土多种银器956件。

[68] 马得志:《唐长安城平康坊出土的鎏金茶托子》,《考古》1959第12期。





[69] 陕西省博物馆:《陕西省耀县柳林背阴村出土一批唐代银器》,《文物》1966 年第 1 期。

[70] 西安市文物管理委员会:《西安市东南郊沙坡村出土一批唐代银器》,《文物》1964 年第 6 期。

[71] 喀喇沁旗文化馆:《辽宁昭盟喀喇沁旗发现唐代鎏金银器》,《考古》1977 年第 5 期。

[72] 卢兆荫:《试论唐代的金花银盘》,《中国考古学研究》,文物出版社,1986 年。

[73] 袁长江:《西安唐墓出土开元年间银背凸花铜镜》,《人文杂志》1982 年第 5 期。

[74] 梁上椿:《岩窟藏镜》第三集,图九三。

[75] 山西省文物管理委员会:《太原西南郊清理的汉至元代墓葬》,《考古》1963 年第 5 期。

[76] 陕西省文管会:《西安郭家滩隋姬威墓清理简报》,《文物》1959 年第 8 期。

[77]《全唐诗》卷八七〇。

[78]《新修本草》(辑复本),唐苏敬等撰,尚志钧辑校,安徽科学技术出版社,1981 年。

## 第三节 南青北白的制瓷技术

[1] 熊海棠:《中国古代的窑具与装烧技术研究》,《东南变化》1991 年第 6 期、1992 年第 1 期连载。

[2] 李德金:《古代瓷窑址的调查和发掘》,《新中国的考古发现和研究》,文物出版社,1984 年。

[3] 陕西省考古研究所:《陕西铜川耀州窑》,科学出版社,1965 年。

[4] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》,文物出版社,1992 年。

[5] 陕西省考古研究所:《五代黄堡窑址》第 237 页,文物出版社,1997 年。

[6] 陆羽:《茶经》,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 315 碟。

[7] 贡昌:《婺州古窑》,紫禁城出版社,1988 年。

[8] 长沙窑课题组:《长沙窑》,紫禁城出版社,1996 年。

[9] 余家栋:《江西陶瓷史》,河南大学出版社,1997 年。

[10] 胡悦谦:《谈寿州窑》,《考古》1988 年第 8 期。

[11] 内邱县文物保管所:《河北内邱县邢窑调查简报》,《文物》1981 年第 9 期。

[12] 河北临城邢窑研究小组:《唐代邢窑遗址调查报告》,《文物》1981 年第 9 期。

[13] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》,文物出版社,1992 年。第 527 ~ 528 页。

[14] 阮平尔:《唐光启三年瓷质罐形墓志及相关问题》,《东南文化》1993 年第 2 期。

[15] 浙江省文物管理委员会:《浙江临安板桥的五代墓》,《文物》1975 年第 8 期。

[16] 浙江省博物馆等:《浙江临安晚唐钱宽墓出土天文图及"官"字款白瓷》,《文物》1979 年第 12 期。

[17] 冯先铭:《有关临安钱宽墓出土"官"字、"新官"款白瓷问题》,《文物》1979 年第 12 期。板桥五代墓所出"官"字铭青瓷为越窑产品。

[18] 明堂山考古队:《临安县水邱氏墓发掘报告》,《浙江省文物考古研究所学刊》,文物出版社,1981 年。

[19] 冯永谦:《赤峰缸瓦窑村辽代瓷窑址的考古新发现》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[20] 权奎山:《关于唐宋瓷器上的"官"和"新官"字款问题》,《中国古陶瓷研究》第五辑,紫禁城出版社,1999 年。

[21] 胡欣民:《宣州窑浅见》,《文物研究》第 10 辑,1995 年。

[22] 陕西省法门寺考古队:《扶风法门寺唐代地宫发掘简报》,《文物》1988 年第 10 期。

［23］冯先铭:《法门寺出土的秘色瓷》,《文物》1988 年第 10 期。

［24］李辉柄:《略谈法门寺出土的越窑青瓷》,《文物》1988 年第 10 期。

［25］袁南征:《重新认识官窑——关于官窑概念的探讨》,《文博》1995 年第 6 期。

［26］刘毅:《“宣州官窑”及其相关问题研究》,《考古》1999 年第 11 期。

［27］孟凡人等:《中国古瓷在非洲的发现》，紫禁城出版社，1987 年。

［28］李锡经等译:《陶瓷之路》，文物出版社，1984 年。三上次男原著，1972 年岩波书店发行。

［29］长沙窑课题组:《长沙窑》第 210 ~ 216 页，紫禁城出版社，1996 年。出土长沙窑产品的国家和地区有：朝鲜、日本、印度尼西亚、伊朗、泰国、菲律宾、斯里兰卡、巴基斯坦、阿曼、沙特阿拉伯、伊拉克、肯尼亚、坦桑尼亚等。

［30］郭演仪等:《中国历代南北青瓷的研究》，中国硅酸盐学会编《中国古陶瓷论文集》，文物出版社，1982 年。

［31］陈尧成等:《武昌青山窑古代青瓷研究》,《南方文物》1994 年第 3 期。

［32］周世荣:《石渚长沙窑出土的瓷器及其有关问题的研究》,《中国古代窑址调查发掘报告集》，文物出版社，1984 年。成分见第 232 页。

［33］长沙窑课题组:《长沙窑》第 24 ~ 25 页，紫禁城出版社，1996 年。

［34］彭子成等:《用 EDXRF 方法研究临江诸窑场古瓷胎的化学组成分区特征》,《南方文物》1997 年第 4 期。

［35］陈显求等:《唐新会官冲窑》，载上海古陶瓷科学研究会编:《1992 年古陶瓷科学技术国际讨论会论文集》第 129 页，1992 年。陈显求等:《耀州青瓷和黑釉瓷》,《中国陶瓷》1990 年第 4 期。

［36］杨文山:《隋代邢窑遗址的发现和初步分析》,《文物》1984 年第 2 期。

［37］李辉柄:《北方瓷器发展的几个问题》,《故宫博物院院刊》1991 年第 4 期。

［38］李辉柄:《略谈中国瓷器考古的主要收获》,《故宫博物院院刊》1989 年第 4 期。

［39］中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第 203 页，文物出版社，1982 年。

［40］冯先铭:《三十年来我国陶瓷考古的收获》,《故宫博物院院刊》1980 年第 1 期。

［41］陈尧成等:《武昌青山窑古代白瓷研究》,《中国陶瓷》1993 年第 3 期。青山窑发掘报告见湖北省文物考古研究所:《武昌青山瓷遗址发掘简报》,《江汉考古》1991 年第 4 期。本书引用的青山窑资料，除有关学者明确定成了五代的瓷片外，其余多数置于北宋范围。

［42］胡悦谦:《安徽江南地区的繁昌窑》,《东南文化》1994 年 1 号增刊（《中国古陶研究会’94 年会论文集》)。

［43］蔡毅:《关于景德镇与繁昌白瓷的讨论》,《文物研究》第 10 辑，1995 年。

［44］陈衍麟:《繁昌窑器釉色及造型工艺》,《文物研究》第 10 辑，1995 年。

［45］杜玉生:《北魏洛阳城出土的瓷器与釉陶器》,《考古》1991 年第 12 期。

［46］李家治、郭演仪:《中国历代南北著名白瓷》,《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

［47］林淑钦等:《唐寿州窑黄釉瓷器》,《文物研究》第 10 辑，1995 年。

［48］贡昌:《浙江龙游、衢县两处唐代古窑址调查》,《考古》1989 年第 7 期。

［49］贡昌:《唐代婺州窑概况》,《中国古陶瓷研究》第 2 辑，1988 年。

［50］贡昌:《谈婺州窑》,《中国古代窑址调查发掘报告集》，文物出版社，1984 年。

［51］李知宴、张福康:《论唐三彩的制作工艺》，载中国科学院上海硅酸盐研究所:《中国古陶瓷研究》，科学出版社，1987 年。

［52］李国桢等:《唐三彩的研究》，载中国科学院上海硅酸盐研究所:《中国古陶瓷研究》，





科学出版社，1987 年。

[53] 张福康:《中国传统低温色釉和釉上彩》；张福康：《铁系高温瓷釉综述》，二文均载《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。张福康等:《中国历代低温色釉和釉上彩的研究》，《中国古陶瓷论文集》，文物出版社，1982 年。

[54] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》，文物出版社，1992 年。淘洗作坊见第 31 页、第 42 页，粉碎工具见第 466 ~ 467 页、第 489 页。

[55] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第 191 ~ 196 页，文物出版社，1982 年。

[56] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》，文物出版社，1992 年。第 468 ~ 469 页、第 489 ~ 491 页、第 524 ~ 525 页。

[57] 浙江省文物管理委员会:《浙江临安板桥的五代墓》，《文物》1975 年第 8 期。

[58] 浙江省文物管理委员会:《杭州、临安五代墓的天文图和秘色瓷》，《考古》1975 年第 3 期。

[59] 河南省巩义市文物保护管理所:《黄冶唐三彩窑》第 9 ~ 13 页，科学出版社，2000 年。

[60] 杨静荣:《谈陶瓷装饰工艺——绞胎》，《故宫博物院院刊》1986 年第 4 期。

[61] 黄炳煜:《从泰州出土的绞胎罐、壶谈绞胎器》，《南方文物》1993 年第 3 期。

[62] 关双喜等:《唐杨谏臣墓出土的几件文物》，《文博》1985 年第 4 期。

[63] 河南省巩义市文物保护管理所:《黄冶唐三彩窑》第 49 ~ 51 页，科学出版社，2000 年。

[64] 何堂坤:《关于花纹钢及其模拟试验》，《锻压技术》1988 年第 4 期。

[65] 安徽省文物考古研究所等:《安徽马鞍山东吴朱然墓发掘简报》，《文物》1986 年 3 期。

[66] 王世襄:《对犀皮漆器的再认识》，《文物》1986 年。

[67] 段鹏琦:《唐代墓葬的发掘与研究》，《新中国的考古发现和研究》，文物出版社，1984 年。

[68] 陆龟蒙:《秘色越器》诗见《全唐诗》卷六二九。

[69] 张福康:《中国古陶瓷的科学》，上海人民美术出版社，2000 年。

[70] 虞浩旭:《试论“秘色瓷”含义的演变》，《文物研究》第 10 辑，1995 年。李知宴:《关于秘色瓷的几个问题》，《中国历史博物馆馆刊》总第 25 期，1995 年。

[71] 李家治:《中国古代科学技术史 · 陶瓷卷》第 115 页、第 366 页，科学出版社，1998 年。

[72] 胡悦谦:《寿州窑瓷器釉色的研究成果》，《文物研究》第 10 辑，1995 年。

[73] 文物编辑委员会:《文物考古工作十年（1979 ~ 1989）》第 34 页，“河北省”，文物出版社，1990 年。

[74] 穆青:《早期定瓷初探》，《文物研究》第 10 辑，1995 年。

[75] 长沙窑课题组:《长沙窑》第 25 ~ 28 页，紫禁城出版社，1996 年。

[76] 范凤妹:《吉州窑的彩绘瓷》，《东南文化》1994 年增刊 1 号。

[77] 周世荣:《长沙古瓷窑的彩釉彩绘装饰》，《考古》1990 年第 6 期。

[78] 文物编辑委员会:《文物考古工作十年（1979 ~ 1989）》第 258 页，“四川省”；文物出版社，1990 年。

[79] 魏达议:《具有地方特色的四川古窑》，《四川古陶研究》，四川社会科学出版社，1984 年。

[80] 南京博物院等:《扬州唐城遗址 1975 年考古工作简报》，《文物》1977 年第 9 期。

[81] 张志刚等:《扬州唐城出土青花瓷的测定及其重要意义》，《中国陶瓷》1984 年第 3 期。罗宗真等:《扬州唐城出土青花瓷的重要意义》，中国科学院上海硅酸盐研究所：《中国古陶瓷研

究》，科学出版社，1987年。

[82] 文化部文物局扬州培训中心:《扬州新发现的唐代青花瓷片概述》，《文物》1985年第10期。原报告未曾明确说到所出青花瓷片的数目，从行文推测，至少有11片。1983年秋冬发现。

[83] 扬州市博物馆:《扬州三元路工地考古调查》，《文物》1985年第10期。白釉青花瓷盘1件，1983年下半年发现。

[84] 顾风、徐良玉:《扬州新出土两件唐代青花瓷碗残片》，《文物》1985年第10期。青花瓷碗残片2件，1983年11月出土。

[85] 马富坤:《扬州发现的一件唐青花瓷片》，《文物》1985年第10期。青花瓷碗残片，1983年初发现。

[86] 薛炳宽:《扬州又出土一件唐代青花瓷器》，《中国文物报》1988年7月8日。青花瓷碗残片，1988年出土。

[87] 张浦生:《近年来中国青花瓷的发现与研究》，《东南文化》1993年第3期。

[88] 扬州城考古队:《江苏扬州市文化宫唐代建筑基地发掘简报》，《考古》1994年第5期。

[89] 周长源:《扬州市郊出土一件白釉蓝彩盖罐》，《文物》1977年第9期。

[90] 河南省巩义市文物保护管理所:《黄冶唐三彩窑》，彩版一六、五七，科学出版社，2000年。

[91] 郭木森等:《巩县黄冶窑发现唐代青花瓷产地，找到烧制唐三彩窑炉》，《中国文物报》2003年2月26日。

[92] 张松林等:《唐代青花瓷探析》，《中原文物》2005年第3期。

[93] 马文宽:《唐青花瓷研究——兼谈我国青花瓷所用钴料的某些问题》，《考古》1997年第1期。

[94] 陈尧成等:《唐代青花瓷器及其色料来源研究》，《考古》1996年第9期。青花标本TB-W-2、TB-W-4原出自张志刚等《唐代青花瓷与三彩钴蓝》，《景德镇陶瓷学院学报》1986年第1期。

[95] 陈尧成等:《历代青花瓷和着色料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[96] 马文宽:《关于我国目前的古陶瓷研究》，《东南文化》1994年增刊1号。

[97] 赵青云等:《河南青白瓷探源——兼谈与繁昌窑的关系》，《文物研究》第10辑，1995年。

[98] 陕西省博物馆等:《唐郑仁泰墓发掘报告》，《文物》1972年第7期。

[99] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》第466页，文物出版社，1992年。

[100] 长沙窑课题组:《长沙窑》第29页，紫禁城出版社，1996年。

[101] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》第525页，文物出版社，1992年。

[102] 陕西省考古研究所:《五代黄堡窑址》第234页，文物出版社，1997年。

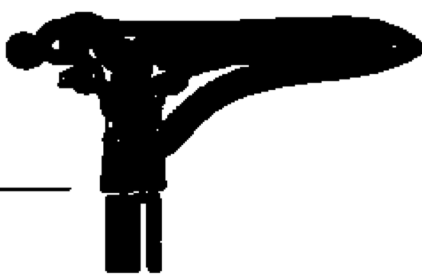
[103] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》第23页、第37页、第42页，文物出版社，1992年。

[104] 河北省邢窑研究组:《邢窑工艺技术研究》，《河北陶瓷》1987年第2期。临城县祁村、双井村各清理1座晚唐窑炉。

[105] 河北省文化局文物工作队:《河北曲阳县涧磁村定窑遗址调查与试掘》，《考古》1965年第8期。

[106] 曾广亿:《广东潮安北郊唐代窑址》，《考古》1964年第4期。

[107] 刘凤君:《山东古代烧瓷窑炉结构和装烧技术的发展序列初探》，《考古》1997年第



4 期。

[108] 叶宏明等:《关于我国陶器向青瓷发展的工艺探讨》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982 年。

[109]《中国文化报》讯:《洪州窑址调查发掘获重大成果》,《中国文化报》1993 年 5 月 2 日。

[110] 江西省历史博物馆等:《江西丰城罗湖窑发掘简报》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[111] 宋百川等:《山东曲阜、泗水隋唐窑址调查》,《考古》1985 年第 1 期。

[112] 内丘县文物保管所:《河北省内丘县邢窑调查简报》,《文物》1987 年第 9 期。

[113] 李铧:《广西桂林窑的早期窑址及其匣钵装烧工艺》,《文物》1991 年第 12 期。作者认为桂林窑当始于南朝后期,盛于隋,终于隋或唐初。

[114] 林士民:《勘察浙江宁波唐代古窑的收获》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[115]《曲阜宋家村古代瓷器窑址调查》,《景德镇陶瓷》1984 年第 2 期。

[116] 陕西省考古研究所:《唐代黄堡窑址》第 491 ~ 500 页、第 525 页,文物出版社,1992 年。

[117] 长沙窑课题组:《长沙窑》第 115 ~ 116 页,紫禁城出版社,1996 年。

[118] 陈文学等:《湖北武昌县青山瓷窑"火照"及相关问题》,《东南文物》1992 年第 4 期。

[119] 陕西省考古研究所:《五代黄堡窑址》第 237 页,文物出版社,1997 年。

[120] 曹建文:《关于中国古代瓷器覆烧工艺的几个问题》,《文物研究》第 10 辑,1995 年。

[121] 河南省文物研究所:《河南内乡大窑遗址的调查》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

## 第四节　纺织技术的发展

[1] 赵丰:《唐代丝绸的历史地位》,《丝绸史研究》1988 年第 3 期。

[2] 李白:《黄葛篇》,《全唐诗》卷一六四,第 1699 页,中华书局,1960 年。

[3] 玄应:《一切经音义》卷一"大方等大集经·第十五",《丛书集成初编》0739 - 32(商务印书局,民国二十五年)。《大藏经》56 - 819. 3。

[4] 农林部棉产改进处编:《胡竟良先生棉业论文选集》第 2 ~ 3 页,中国棉业出版社,1948 年。

[5] 沙比提:《从考古发掘资料看新疆古代的棉花种植和纺织》,《文物》1973 年第 10 期。

[6] 原出自俞启葆:《河西植棉考察记》,《农业推广通讯》1940 年第 2 卷第 10 期。今转引自文献[7]。

[7] 章楷:《我国历史上栽培棉花种类的演变》,《农业研究》第 5 辑,农业出版社,1985 年。

[8] 赵丰:《踏板立机研究》,《自然科学史研究》1994 年第 2 期。

[9] 王进玉、赵丰:《敦煌文物中的纺织技艺》,《敦煌研究》1989 年第 4 期。王进玉:《敦煌壁画纺车织机浅谈》,《丝绸史研究》1984 年第 3 期。

[10] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史(古代部分)》,科学出版社,1984 年。"立织机"见第 225 页,"缫丝"见 374 ~ 375 页。

[11] 新疆维吾尔自治区博物馆:《吐鲁番县阿斯塔那—哈拉和卓古墓群清理简报》,《文物》

1972 年第 1 期。

[12] 新疆维吾尔自治区博物馆出土文物展览工作组:《丝绸之路（汉唐织物)》，文物出版社，1972 年。

[13] 夏鼐:《吐鲁番新发现的古代丝绸》,《考古学和科技史》，科学出版社，1979 年。

[14]《无产阶级文化大革命期间出土文物展览简介·新疆维吾尔自治区吐鲁番阿斯塔那北区晋唐墓葬》,《文物》1972 年第 1 期。

[15] 王炳华:《盐湖古墓》,《文物》1973 年第 10 期。

[16] 夏鼐:《新疆发现的古代丝织品——绮、锦和刺绣》，《考古学和科技史》，科学出版社，1979 年。

[17] 陈娟娟:《新疆吐鲁番出土的几种唐代织锦》,《文物》1979 年第 2 期。

[18] 转引自《通俗编》卷一二，并见陈元龙《格致镜原》卷三四。

[19] 魏松卿:《略谈中国缂丝的起源》,《文物参考资料》1958 年第 9 期。

[20] 陈娟娟:《缂丝》,《故宫博物院院刊》1979 年第 3 期。

[21] 朱启钤:《清内府藏刻丝书画录》卷三“宋刻丝绣合璧”，张习志跋云:“刻丝作盛于唐贞观、开元间……皆以之为标帙，今所谓包首锦者是也”。

[22] 李遇春等:《新疆脱库孜沙来遗址出土毛织品初步研究》，《中国考古学会第一次年会论文集》，文物出版社，1980 年。此文谈到了 7 件缂毛织物，6 件属于唐代晚期，1 件属宋，不曾谈到北魏缂毛。

[23] 新疆维吾尔自治区博物馆等:《1973 年吐鲁番阿斯塔那古墓群发掘简报》，《文物》1975 年第 7 期。

[24] 孙惠林:《都兰吐蕃墓群发掘获重大成果》，《中国文物报》1996 年 6 月 16 日第 1 版，并见《文物天地》1994 年第 4 期第 10 页。

[25] 转引自文献［10］第 319 页。

[26] 福建省博物馆:《福州市北郊南宋墓清理简报》,《文物》1977 年第 7 期。

[27] 镇江市博物馆等:《江苏金坛南宋周瑀墓发掘简报》,《文物》1977 年第 7 期。

[28] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第 303 页，科学出版社，2002 年。原出处见文献［15］。

[29]《御定历代赋彙》卷九八，见文渊阁《钦定四库全书》抄本第六九册，武汉大学出版社电子版第 438 碟。

[30] 武敏:《吐鲁番出土丝织品中的唐代印染》,《文物》1973 年第 10 期。

[31] 新疆维吾尔自治区博物馆:《新疆出土文物》第 111 页，文物出版社，1975 年。

[32] 赵丰:《唐代丝绸染色之染料与助剂初探》,《中国丝绸史学术讨论会论文汇编》，浙江丝绸工学院丝绸史研究室编辑，1984 年。

[33]《本草纲目》卷八“铁浆·集解”引唐陈藏器《本草拾遗》。

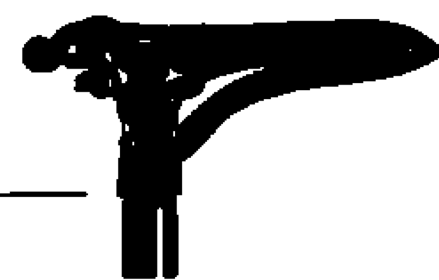
[34] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分)》，科学出版社，1984 年。“印花”见第 270~273 页。

[35] 罗瑞林:《关于印金云龙纹包袱皮印染工艺的分析》，《中国丝绸史学术讨论会论文汇编》，杭州丝绸工学院丝绸史研究室编，1984 年。

[36]《中华古今注》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 316 碟。

[37]《长庆集》卷六四。

[38] 武敏:《唐代的夹版印花——夹缬》，《文物》1979 年第 8 期。“夹缬被”见该文第 48 页注［4］:“笔者曾见 72TAM193 所出《天宝年间行馆承点器物账》，首行有‘远载破被五张’，下加边注：‘内二夹缬’。文书原藏新疆维吾尔自治区博物馆。”





## 第五节　机械技术


[1] 宋兆麟:《唐代曲辕犁研究》,《中国历史博物馆刊》总第1期,1979年。

[2] 王星光:《中国传统耕犁的产生、发展及演变》,《农业考古》1989年第2期。

[3] 金毓黻:《从榆林窟壁画耕作图谈到唐代寺院经济》,《考古学报》1957年第2期。安西榆林窟25号壁画(唐代中期)、敦煌莫高窟61号壁画(宋代)均有二牛抬杠。莫高窟445号窟的曲辕犁壁画也有人认为属于盛唐时期。

[4]《考工记·轮人》:"轮人为盖,达常围三寸,桯围倍之,六寸。"郑司农云:"桯,盖杠也。"疏:"此盖柄下节,粗大常一倍,向上含达常也。"即是说,桯是车盖下较粗的一段。有学者认为"桯当作曲字解"(见文献[1]),当有一定道理。然"樛"亦有曲意。

[5] 阎文儒等:《唐陆龟蒙〈耒耜经〉注释》,《中国历史博物馆馆刊》总第2期,1980年。

[6] 杨荣垓:《曲辕犁新探》,《农业考古》1988年第2期。

[7] 张春辉等:《江东犁及其复原研究》,《农业考古》2001年第1期。

[8]《四部丛刊初编缩本》157册,商务印书馆影印,1936年。

[9] 李崇州:《中国古代各类灌溉机械的发明和发展》,《农业考古》1983年第1期。

[10] 刘仙洲:《中国古代农业机械发明史》第50页,科学出版社,1963年。

[11]《分门集注杜工部诗》卷一六。

[12] 益阳地区博物馆:《湖南益阳市大海塘唐宋墓》,《考古》1994年第9期。

[13] 河南省文化局文物工作队:《河南方城盐店庄村宋墓》,《文物参考资料》1958年第11期。墓砖上有"宋宣和改元十一月"等字。

[14] 北京市文物管理处:《北京通县金代墓发掘简报》,《文物》1977年第11期。

[15] 杜茀运:《隋唐墓出土铁器的研究》,中国冶金史学术讨论会论文,1989年,舞阳。

[16] 商承祚:《长沙古物闻见记》卷下,第25页,1929年金陵大学中国文化研究所刻本。

[17] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。

[18] 朱捷元:《唐代白银地金的形制、税银与衡制》,《唐代金银器》,文物出版社,1996年。

[19] 王冠倬:《从文物资料看中国古代造船技术的发展》,《中国历史博物馆馆刊》总第5期,1983年。

[20] 商丘市文物工作队:《河南永城市侯岭唐代木船》,《考古》2001年第3期。

[21] 阙绪杭等:《隋唐运河柳孜唐船及其拖舵的研究》,《技术史研究》(论文集),哈尔滨工业大学出版社,2002年。

[22] 金秋鹏:《中国古代的造船和航海》第49页,中国青年出版社,1985年。

[23] 南京博物院:《如皋发现的唐代木船》,《文物》1974年第5期。

[24] 徐英范:《水密舱壁的起源和挂锔法》(油印本)。

[25] 江苏省文物工作队:《扬州施桥发现了古代木船》,《文物》1961年第6期。原断代为宋,文献[19]说它为晚唐。

[26] Needham, j., ScienceandCivilisationinChine, Cambridge, 1971, Vol. Vl: 3, pp420-421.

[27] 乾隆《崇明县志》:"沙船以出崇明沙而得名。太仓、松江、通州、海门皆有。"

[28] 转引自王寇倬:《中国古船图谱》第98页,三联书店,2000年。

[29] 周世德:《中国沙船考略》,《科学史集刊》(5),1963年。

[30] 王进玉:《敦煌文物中的舟船史料及研究》,《中国科技史料》1994年第3期。

[31] 王冠倬:《从碇到锚》,《船史研究》1985年第1期。

[32]《隋书》卷七八“耿询传”:“询创意造浑天仪，不假人力，以水转之，施于室中，使智宝外候天时，如合符契。”

[33] 刘仙洲:《中国机械工程发明史》第71页、第121页，科学出版社，1962年。

[34] 文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。

[35] 西安市文物管理委员会:《西安市东南郊沙坡村出土一批唐代银器》,《文物》1964年第6期。

[36] 陕西省博物馆等:《西安南郊何家村发现唐代窟藏文物》,《文物》1972年第1期。

[37] 陕西省法门寺考古队:《扶风法门寺塔唐代地宫发掘简报》,《文物》1988年第10期。

[38] 韩伟:《唐长安城内发现的袖珍银熏球》,《考古与文物》1982年第1期。

[39] 后蜀赵崇祚辑:《花间集》。

[40] 史树青:《古代科技事物四考》,《文物》1962年第3期。

## 第六节　造纸技术之初步繁荣

[1]《十纸说》，收入明毛子晋《海岳志林》，见《笔记小说大观》第14册，江苏广陵古籍刻印社，1983年。

[2] 王明:《隋唐时代的造纸》,《考古学报》1956年第1期。

[3] 曹天生:《试议宣纸源于徽纸》,《纸史研究》第2期，1986年。

[4] 曹天生:《中国宣纸》第43页，中国轻工业出版社，2000年。

[5]《后山谈丛》卷一第14页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。

[6] 宋王楙《野客丛谈》，陈文龙《格致镜原》（第十六册）卷三七，第22页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。

[7] 李翰:《翰林志》第4页。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

[8] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第60页、第76页，文物出版社，1979年。

[9] 刘仁庆:《中国古代造纸史话》第34页、第58页，轻工业出版社，1978年。

[10] 潘吉星:《新疆出土古纸的研究》,《文物》1973年第10期。

[11] 潘吉星:《敦煌石室写经纸的研究》,《文物》1966年第3期。

[12] 新疆维吾尔自治区博物馆等:《1973年吐鲁番阿斯塔那古墓群发掘简报》,《文物》1975年第7期第12页。

[13] 唐段公路:《北户录》卷三第7页。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

[14] 转引自《重修政和经史证类备用本草》卷一二“沉香”条。

[15] 陈大川:《中国造纸技术盛衰史》第241页，中外出版社（台湾），1979年。

[16] 唐李吉甫撰:《元和郡县志》（第十二册）卷二七，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第224碟。

[17] 贺次君校《元和郡县图志》卷二五“江南道一”，中国古代地理部志丛刊，中华书局，1983年，

[18] 杨慎:《升庵外集》卷一九“用器·文具”，桂湖藏板，道光甲辰影明板重刻。

[19] 戴家璋主编:《中国造纸技术简史》第78~81页，中国轻工业出版社，1994年。

[20] 元稹:《奉和浙西大夫李德裕述梦四十韵》,《全唐诗》（第十二册）卷四二三，第4646页，中华书局，1960年。李德裕，《新唐书》卷一八〇有传。

[21] 荣元恺:《草浆纸史溯古今》,《纸史研究》(十四), 1986 年。

[22] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第 174~175 页, 文物出版社, 1979 年。

[23] 荣元恺:《纸药——发明造纸术中决定性的关键》,《纸史研究》(六), 1989 年。

[24] 唐张彦远:《历代名画记》(第二册) 卷三第 8 页,《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 312 碟。

[25]《书史》第 32 页。文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 312 碟。

[26]《书史》第 15 页。文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 312 碟。

[27] 清张英等:《御定渊鉴类函》(第一三九册) 卷二〇五 (第 11 页) "文学部十四 · 纸五", 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 330 碟。

[28] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第 182~184 页, 文物出版社, 1979 年。

[29] 米芾《十纸说》, 见《笔记小说大观》第 14 册, 江苏广陵古籍刻印社, 1983 年。《格致镜原》(第十六册) 卷三七第 15 页至 16 页所引略同, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[30]《事物纪原》卷二,《丛书集成初编》1209, 王云五主编, 商务印书馆。

[31] 唐张彦远:《历代名画记》(第一册) 卷二第 7 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 312 碟。

[32]《广川书跋》(第三册) 卷六 (第 15 页至 16 页) "硬黄" 条, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 312 碟。

[33] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第 80 页、第 85~86 页, 文物出版社, 1979 年。

[34]《国史补》(第二册) 卷下第 16 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[35]《丹铅总录》(第十六册) 卷一五, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 316 碟。

[36]《清波别志》, 转引自清沈翼机等《浙江通志》(第五十六册) 卷一〇七 "物产七 · 温州 · 纸" 注。文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 229 碟。

[37] 清《格致镜原》(第十六册) 卷三七, 见文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[38] 韩浦诗, 见清张玉书等编:《御定佩文斋咏物诗选》(第二十九册) 卷一八三 "笺" 第 3 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 439 碟。

[39] 陆龟蒙诗, 见清张玉书等编:《御定佩文斋咏物诗选》(第二十九册) 卷一八三 "笺" 第 1 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 439 碟。

[40] 陈允敦、李国清:《薄金工艺及其交流》, 第一届海上交通史学术讨论会论文, 1982 年 3 月, 泉州。

[41] 孔平仲:《谈苑》,《格致镜原》(第十六册) 卷三七, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[42] 见《御定全唐诗》(第一四二册) 卷四九二第 11 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 438 碟。

[43] 徐寅:《纸被》, 康熙四十二年《御定全唐诗》(二〇七册) 卷七一〇第 8 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 438 碟。

[44] 陆游:《谢朱元晦寄纸被》,《剑南诗集》(第二十二册) 卷三六第 16 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 411 碟。

[45] 罗隐:《寒食日早出城东》, 康熙四十二年《御定全唐诗》(第一九一册) 卷六五九第 5 页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第 438 碟。

［46］《封氏闻见记》（第二册）卷六第 9 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 317 碟。

［47］原出自万斯年译:《唐代文献丛考》第 116 页；岩佐精一郎:《唐代粟特城塞之发掘及其出土文书》。今转引自文献［2］第 126 页。

［48］唐杜佑:《通典》（第五十七册）卷一九一“边防七·西戎·西戎总序”第 12 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 237 碟。

［49］唐杜佑:《通典》（第五十八册）卷一九三“边防九·西戎五·大食”第 29 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 237 碟。

［50］原出自 Al－Biruni’sIndia，ed、byC、Schau，p. 171（1914，London）。今转引自文献［8］第 154 页。

## 第七节　雕版印刷的兴起

［1］隋费长房:《历代三宝记》，《大正新修大藏经》卷四九，“史传部”，第 108 页。东京，大正一切经刊行会，1924 年。

［2］柳毅:《中国的印刷术》第 81～82 页、第 94～99 页，科学普及出版社，1987 年。

［3］张秀民:《中国印刷术的发明及其对亚洲各国的影响》，《张秀民印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988 年。

［4］张秀民:《中国印刷史》第 21 页，上海人民出版社，1989 年。

［5］中村不折:《新疆と甘肃の探险》第 7 页，东京，雄山阁，1934 年。秃氏佑祥:《东洋印刷史研究》第 20 页，东京，青裳堂书店，1981 年。

［6］赵永辉:《关于印刷术起源问题的管见》，《中国文物报》1997 年 2 月 26 日。

［7］胡道静:《世界上现存最早印刷品的发现》，《书林》1979 年第 2 期。

［8］梁玉玲译:《关于一件新发现的最早印刷品的初步报告》，《书林》1980 年第 3 期。原作者为美国学者 L. Coodrich。

［9］张秀民:《南朝鲜发现的佛经为唐朝印本说》，《张秀民印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988 年。

［10］孙机:《唐代的雕版印刷》，《文物天地》1991 年第 6 期。

［11］潘吉星:《韩国新发现的印本陀罗尼经与中国武周时的雕版印刷》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996 年。

［12］潘吉星:《论韩国发现的印本〈无垢净光大陀罗尼经〉》，《科学通报》1997 年第 10 期。

［13］安家瑶等:《西安沣西出土的唐印本梵文陀罗尼经咒》，《考古》1998 年第 5 期。

［14］保全:《世界最早的印刷品》，《中国考古学研究论集——纪念夏鼐先生考古 50 周年》，1987 年，西安三秦出版社。

［15］宿白:《唐宋时期的雕版印刷》第 7～8 页，文物出版社，1999 年。

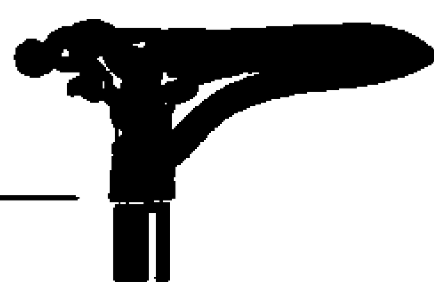
［16］冯汉骥:《记唐印本陀罗尼经咒的发现》，《文物参考资料》1957 年第 5 期。

［17］文物编辑委员会:《文物考古工作三十年（1949～1979）》第 225 页“浙江省”部分，文物出版社，1979 年。

［18］唐法藏:《华严经探玄记》卷二，《大正新修大藏经》卷三五，第一二七页，东京，大正一切经刊行会，1926 年。

［19］唐法藏:《华严一乘教义分齐章》卷一，《大正新修大藏经》卷四二，第四八二页，东京，大正一切经刊行会，1926 年。

［20］张秀民:《中国印刷史》第 13～14、第 37 页，上海人民出版社，1989 年。





［21］《元氏长庆集》（第十二册）卷五一第 2 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 402 碟。

［22］《云溪友议》卷下“羡门远”条（第 3 册）第 21 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟。

［23］国家图书馆藏敦煌照片，并见文献［6］。

［24］国家图书馆藏唐人写经“金刚经”（“有”字第九号）一小册，残本第十页，其末有“西川行过家真印本”字样；又有“丁卯年三月十二日八十四岁老人手写流传”字样。可知它是五代开平元年丁卯（907 年）一位老人据过家印本重抄的。又，巴黎图书馆《敦煌书目》349 号“金刚经”，其末有天福八年（943 年）“西州（川）过家真印本”字样。详见《北京大学国学季刊》卷四号。

［25］“无产阶级文化大革命”期间出土文物简介:《无为宋塔下出土的文物》,《文物》1972 年第 1 期。

［26］张秀民:《五代吴越国的印刷》,《张秀民印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988 年。

［27］《宋史》卷四七九、《旧五代史》卷四三“明宗纪”注、宋人王明清《挥尘余话》卷二、《五代史补》、清吴任臣《十国春秋》卷五二“毋昭裔传”。

［28］《旧五代史》卷一二七“和凝传”：和凝“平生为文章，长于短歌艳曲，尤好声誉。有集百卷，自篆于版，模印数百帙，分惠于人焉”。

［29］明丰坊《真尝斋赋》（藕香零拾本）:“暨乎刘氏《史通》，《玉台新咏》（原注：上有退业文房之印），则南唐之初梓也。”

［30］清叶昌炽:《语石》卷九，《续修四库全书》第 905 册第 312 页。

［31］庄葳:《唐开元〈心经〉铜范系铜版辨——兼论唐代铜版雕刻印刷》，《社会科学》1979 年第 4 期，上海社会科学出版社。

［32］岳珂:《九经三传沿革例》第 3 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 118 碟。

［33］清朱彝尊:《经义考》（第七十六册）卷二九三，第 19 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 224 碟。

［34］宋育哲:《网版印刷探源》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996 年。

［35］刘诗中等:《贵溪崖墓所反映的武夷山地区古越族的族俗及文化特征》，《文物》1980 年第 11 期。

［36］新疆维吾尔自治区博物馆:《丝绸之路上新发现的汉唐织物》,《文物》1972 年第 3 期。

［37］新疆维吾尔自治区出土文物展览工作组:《丝绸之路（汉唐织物）》，文物出版社，1972 年。

［38］武敏:《吐鲁番出土丝织品中的唐代印染》,《文物》1973 年第 10 期。

［39］陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 270 页，科学出版社，1984 年。

［40］洛阳市文物工作队:《洛阳北窑西周墓》，文物出版社，1999 年。

［41］蔡运章:《洛阳北窑西周墓墨书文字略论》,《文物》1994 年第 7 期。

［42］“白懋父”簋，口径 18.9 厘米、腹深 10.8 厘米、圈足径 15.4 厘米、通高 14.1 厘米。见文献［40］第 80 页。

［43］洛阳市文物工作队:《洛阳北窑西周墓》第 100 页，文物出版社，1999 年。“史矢”戈、“尧戈”、“封氏”戈。

［44］张颔等:《侯马盟书》，1979 年。

［45］湖北省文物考古研究所:《江陵九店东周墓》第 292 页，科学出版社，1995 年。湖北

孝感地区第二期亦工亦农文物考古训练班:《湖北云梦睡虎地十一地座秦墓发掘简报》,《文物》1976 年第 9 期。

[46] 尹润生:《中国墨创始年代的商榷》,《文物》1983 年第 4 期。

[47] 李亚东:《中国制墨技术的源流》,《科技史文集》第 15 集,上海科学技术出版社,1989 年。

[48] 山西省文物工作委员会:《山西浑源毕村西汉木椁墓》,《文物》1980 年第 6 期。

[49] 长江流域文物考古工作人员训练班:《湖北江陵凤凰山西汉墓发掘简报》,《文物》1974 年第 6 期。

[50] 广州市文物管理委员会等:《西汉南越王墓》(上册)第 142 页,文物出版社,1991 年。

[51]《望都汉墓壁画》,图版十六、十七,古典艺术出版社,1955 年。

[52] 黄河水库考古工作队:《河南陕县刘家渠汉墓》,《考古学报》1965 年第 1 期。

[53] 南京市文物保管委员会:《南京老虎山晋墓》,《考古通讯》1959 年第 6 期。

[54]《太平御览》卷六〇五"墨"条引。

[55] 宋晁季一:《墨经》"松"条、"药"。文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 315 碟。

[56] 李诩:《戒庵老人漫笔》卷七"笔墨",《续修四库全书》第 1173 册第 790 页。

[57] 苏易简:《文房四谱》,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 314 碟。

[58] 肖子良:《答王僧虔书》,文献[59]宋李孝美亦曾引用。又见《书断》(见元陶宗仪《说郛》(第一〇五册)卷八七下,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 319 册。

[59] 宋李孝美:《墨谱法式》卷下,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 315 碟。

[60] 元陆友:《墨史》,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 315 碟。

[61] 曹植《乐府》诗,载《御定佩文斋咏物诗选》卷一七二,文渊阁《钦定四库全书》抄本第二八册,武汉大学出版社电子版第 439 碟。

## 第八节　火药的发明

[1] 复旦大学静电加速器实验室等:《越王剑的质子 X 荧光非真空分析》,《复旦学报》(自然科学版)1979 年第 1 期。

[2] 孟乃昌:《全国自然科学史学术会议论文汇编》(上)第 6 章第 1 页,1980 年,油印本。

[3] 何堂坤:《几件表面含硫的战国青铜器的科学分析》,《中国科学技术史国际学术讨论会论文集》(1990 年,北京),中国科学技术出版社,1992 年。

[4] 马王堆汉墓出土帛书整理小组:《五十二病方》,文物出版社,1979 年。

[5] 甘肃省博物馆等:《武威旱滩坡发掘简报——出土大批医药简牍》,《文物》1973 年第 12 期。

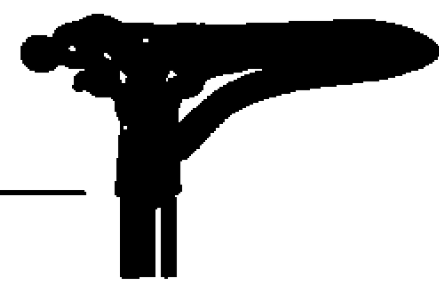
[6] 中医研究院医史文献研究室:《武威汉代医药简牍在医药史上的重要意义》,《文物》1973 年第 12 期。

[7]《三十六水法》见《道藏》总第 597 册,涵芬楼影印本,1923~1926 年。

[8] 孟乃昌:《汉唐消石名实考辨》,《自然科学史研究》1983 年第 2 期。

[9]《神农本草经》,人民卫生出版社,1963 年版。

[10]《本草纲目》卷一一"金石·消石·释名"引宋马志云:"消石","初煎炼时有细芒,





而状若朴消，故有芒消之号，不与朴消及《别录》芒消同类”。

[11] 朝比奈泰彦泰编修:《正仓院药物》第189~295页，大阪植物文献刊行会，1955年。

[12] 赵匡华等:《中国古代试辨硝石与芒硝的历史》，《自然科学史研究》1994年第4期。

[13] 冯家昇:《火药的发明及其传布》，《史学集刊》第5期，1947年。《火药的发明和西传》，华东人民出版社，1954年。

[14] 陈国符:《关于炼丹术中“伏火”的两则杂记》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[15] 孟乃昌:《火药发明探源》，《自然科学史研究》1989年第2期。

[16] 王奎克等:《砷的历史在中国》，《自然科学史研究》1982年第2期。

[17] 郑同等:《单质砷炼制史的实验研究》，《自然科学史研究》1984年第2期。

[18] 郭正谊:《火药发明史料的一点探讨》，《化学通报》1981年第6期。

[19]《道藏》洞神部众术类，总第595册，卷二第7页。

[20] 杨硕等:《古代火药配方的试验研究》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[21]《道藏》洞神部众术类，总第596册第3页、第9页。

[22]《道藏》总596册，《丹方鉴源》卷中第2页。《本草纲目》卷九“金石·石炭”引作，石炭“可去锡晕、制三黄、硇砂、消石”。今《道藏》涵芬楼本无“消石”二字，本书引文参照《本草纲目》补此二字。

[23]《九国志》卷二“郑璠”，《续修四库全书》第333册，上海古籍出版社。

[24] 许洞:《虎钤经》(第二册)卷六，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[25]《黄帝九鼎神丹经诀》见《道藏》总584~585册，涵芬楼本。

[26] 赵匡华:《火药的发明与中国炼丹术》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[27] 潘吉星:《论古代火药的发明及其制造技术》，《科技史文集》第15辑，1989年，上海科学技术出版社。

## 第九节　指南针的发明

[1] 王振铎:《司南指南针与罗经盘——中国古代有关静磁学知识之发现和发明(上)》，原载《中国考古学报》第3册，1948年。今见王振铎《科技考古论丛》，文物出版社，1989年。

[2] 林文照:《天然磁体司南的定向实验》，《自然科学史研究》1987年第4期。

[3]《汉书》卷九九下“王莽传”:“天文郎按栻于前”师古注:“所以占时日。天文郎，今之用栻者也”。

[4]《唐六典》(第六册)卷一四(第32页)“用式之法”注，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

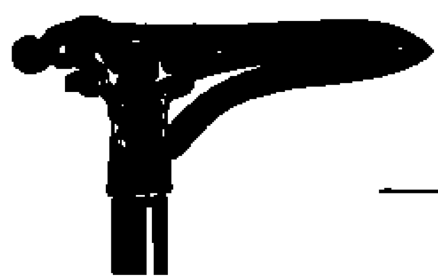
[5]《全唐文》卷四三九。

[6] 刘勰:《文心雕龙》(第六册)卷六(第4页)“体性”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第443碟。

[7] 刘洪涛:《指南针是汉代发明》，《南开学报》1985年第2期。

[8] 吕作昕、吕黎阳:《中国古代磁性指南器源流与发展史新探》，第二届中国少数民族科技史国际学术讨论会论文，1994年8月，延吉。

[9] 林文照:《关于司南的形制与发明年代》，《自然科学史研究》1986年第4期。





[10]《全上古三代秦汉三国六朝文·全后周文》卷一八“庾信文·窦氏墓志铭”等。

[11] 山西省文物管理委员会晋东南文物工作组:《山西长治北石槽唐墓》,《考古》1965年第9期。墓主人卒于显庆四年(659年),墓中未见釉俑和三彩器。

[12]《柳宗元集》卷一三,中华书局,1979年。

[13] 章均立:《上林湖地区出土两件唐代瓷刻墓志》,《文物》1988年第12期。

[14] 段成式:《酉阳杂俎续集》(第八册)卷五(第3页、第14页),文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第336册。

[15] 王振铎:《司南指南针与罗经盘——中国古代有关静磁学知识之发现及发明(中)》,载《中国考古学报》第4册,1949年。

## 第十节　髹漆技术的发展

[1]《资治通鉴》(第九十六册)卷二〇五,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第207碟。

[2] 唐张鷟:《朝野佥载》(第三册)卷五(第10页),文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第335碟。

[3] 邵博:《河南邵氏闻见后录》卷二六,线装《学津讨原》本第28函第16集。

[4] 宋郭若虚:《图画见闻志》(第一册)卷二(第11页)“厉归真”条,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第312碟。

[5] 宣和敕撰:《宣和画谱》(第五册)卷一六“花鸟二”(第13~14页),文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第312碟。不载作者姓名。

[6] 原载 A. Priest: Chinese Sculpture in the Metropolitan Museum of Art, New York, 1944. 今转引自文献[28]第166页,王世襄解说。并见文献[27]。

[7] 湖北省荆州地区博物馆保管组:《湖北监利县出土一批唐代漆器》,《文物》1982年第2期。

[8] 冯汉骥:《前蜀王建墓出土的平脱漆器及银铅胎漆器》,《文物》1961年第11期。

[9] 杨有润:《王建墓漆器的几片银饰件》,《文物参考资料》1957年第7期。

[10] 陆树勋:《平脱钿螺髹漆考》,《古学丛刊》第三期。1943年。

[11] 梁上椿:《隋唐式镜之研究》,《大陆杂誌》第六卷第六期。1953年。

[12] 刘向群:《唐金银平脱天马鸾凤镜》,《文物》1966年第1期。

[13] 沈令昕:《上海市文物保管委员会所藏的几面古镜介绍》,《文物参考资料》1957年第8期。

[14] 珠葆:《唐鸾鸟绶带纹金银平脱铜镜》,《考古与文物》1981年第3期。

[15] 洛阳博物馆:《洛阳关林唐墓》,《考古》1980年第4期。

[16] 王振江:《唐代金银平脱铜镜的修复》,《考古》1987年第12期。中国社会科学院考古研究所河南第二工作队:《河南偃师杏园村的六座纪年唐墓》,《考古》1986年第5期。

[17] 洛阳市文物工作队:《洛阳市东明小区C5M1542唐墓》,《文物》2004年第7期。

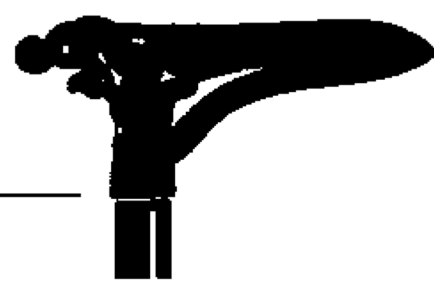
[18] 陈晶:《常州等地出土五代漆器刍议》,《文物》1987年第8期。

[19]《新唐书》卷六“肃宗纪”。

[20] 河南省文化局文物工作队第二队:《洛阳16工区76号唐墓清理简报》,《文物参考资料》1956年第5期。

[21] 陕西省文物管理委员会:《陕西省出土铜镜》,1959年。

[22] 黄河水库考古工作队:《1957年河南陕县发掘简报》,《考古通讯》1958年第11期。





［23］沈从文:《唐宋铜镜》图五十六，中国古典艺术出版社，1958 年。

［24］苏州市文管会等:《苏州市瑞光寺塔发现一批五代、北宋文物》，《文物》1979 年第 11 期。

［25］原出自《奈良六大寺大观》卷一三“唐招提寺”二“解说”。岩波书店，1976 年。鉴真坐像解说水野敬三郎。转引自郁进《日本奈良唐招提寺鉴真夹苎像》，《文物》1980 年第 3 期。

［26］沈福文:《漆器工艺技术资料简要》，《文物参考资料》1957 年第 7 期。

［27］王世襄:《中国古代漆工艺》，《中国美术全集》“工艺美术 8 · 漆器”，文物出版社，1989 年。

［28］《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。黄成原文见第 83 页，王世襄解说见第 83 ~ 84 页。

［29］《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。黄成原文见第 76 页，王世襄解说见第 76 页，具体操作见第 78 页。

［30］王巍:《关于西周漆器的几个问题》，《考古》1987 年第 8 期。

［31］《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。第 119 页，王世襄解说。

［32］《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。第 118 页，黄成原话。

［33］原出自 M. A. Stein: Serindia Vol. 1，1921，P459 ~ 467。转引自《髹饰录解说》第 131 页，文物出版社，1983 年。王世襄释文。

［34］唐袁郊:《甘泽谣》，见《太平广记》卷一九五“红线”条。哈尔滨出版社，1995 年。

［35］宋曾三异:《因话录》“西皮”:（1）《说郛》卷一九，涵芬楼本第一函。（2）《说郛》（第三十册）卷二三上，第 18 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 318 碟。有学者说这段关于“西皮”的文字原出自唐赵璘《因话录》，今查“四库”本唐赵璘《因话录》，却未见此段内容，未知出自何种版本。今引自宋曾三异《因话录》。

## 第十一节　玻璃技术的发展

［1］宁安县文管所等:《黑龙江省宁安县出土的舍利函》，《文物资料丛刊》（2），1978 年。舍利玻璃瓶 1 件，唐。

［2］建筑材料研究所等:《中国早期玻璃器检验报告》，《考古学报》1984 年第 4 期。

［3］河南省文化局文物工作队第二队:《洛阳 16 工区 76 号唐墓清理简报》，《文物参考资料》1956 年第 5 期。料饰 8 粒。

［4］郑州市文物考古研究所:《郑州西郊唐墓发掘简报》，《文物》1999 年第 12 期。均为残片，计两类，一类为瓶器，翠绿色，透明，壁厚 0.6 毫米；另一类为杯，侈口，淡黄色，透明，壁厚亦 0.6 毫米。

［5］中国社会科学院考古研究所:《唐长安城郊隋唐墓》，文物出版社，1980 年。

［6］陕西省博物馆等:《唐李寿墓发掘简报》，《文物》1974 年第 9 期。出土小玻璃瓶 3 件。

［7］甘肃省文物工作队:《甘肃省泾川县出土的唐代舍利石函》，《文物》1966 年第 3 期。舍利玻璃瓶 1 件。

［8］湖南省博物馆:《长沙西晋南朝隋墓发掘报告》，《考古学报》1975 年第 3 期。玻璃戒指 1 枚，隋。

［9］新疆维吾尔自治区博物馆:《新疆吐鲁番阿斯塔那北区墓葬发掘简报》，《文物》1960 年第 6 期。玻璃穿珠，隋。

［10］广西壮族自治区文物工作队:《广西壮族自治区钦州隋唐墓》，《考古》1984 年第 3 期。

隋，玻璃杯1件。直口敛、深腹、圆底、壁薄、青绿色，口径7.5厘米，通高8.0厘米，足径3.8厘米。

[11] 黄启善:《广西古代玻璃制品的发现及其研究》,《考古》1988年第3期。

[12] 安家瑶:《玻璃考古三则》,《文物》2000年第1期。

[13] 安家瑶:《中国的早期玻璃器皿》,《考古学报》1984年第4期。

[14] 昭陵文物管理所:《唐越王李贞墓发掘简报》,《文物》1977年第10期。珠长0.5厘米，直径0.4厘米，中心穿孔。

[15] 陕西省文物管理委员会:《西安郭家滩隋姬威墓清理简报》,《文物》1959年第8期。玻璃小罐1件、玻璃杯2件。

[16] 陕西省博物馆等:《西安南郊何家村发现唐代窖藏文物》,《文物》1972年第1期。

[17] 安家瑶:《试探中国近年出土的伊斯兰早期玻璃器》,《考古》1990年第12期。

[18] 唐王棨:《瑠璃窗赋》,《钦定历代赋汇》卷九八（第六十九册），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第438碟。

[19] 安家瑶:《中国的早期（西汉～北宋）玻璃器皿》，载《中国古玻璃研究（1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986年。

[20] 蒋玄佁:《古代的琉璃》,《文物》1959年第6期。朱晟:《中国玻璃考》,《中国科技史料》1983年第1期。

[21] 张福康等:《中国古玻璃的研究》,《硅酸盐学报》1983年第1期。

[22] 美国康宁玻璃公司B. H. Brill、S. C. Tong等:《一批早期中国玻璃的化学分析》,《中国古玻璃研究（1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986年。

[23] 史美光等:《一批中国古代玻璃的研究》,《中国古玻璃研究（1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986年。

[24] 干福熹:《中国古玻璃化学组成的演变（编后）》,《中国古玻璃研究（1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986年。

[25] 载《云笈七签》卷七一，第402页、第400页，齐鲁书社，1988年。

[26] 孟乃昌:《汉唐消石名实考辨》,《自然科学史研究》1983年第2期。

[27] 孟乃昌:《唐、宋、元、明应用消石的历史》,《中国古代化学史研究》1985年，北京大学出版社。

[28] 黄振发:《隋唐宋时代的古代玻璃技术》，载干福熹主编:《中国古代玻璃技术的发展》，上海科学技术出版社，2005年。

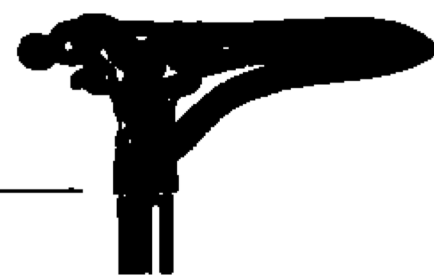
[29] 河北省文化局工作队:《河北定县出土北魏石函》,《考古》1966年第5期。

[30] 安家瑶:《我国古代玻璃研究中的几个问题》,《中国考古学研究——夏鼐先生考古五十年纪念论文集》，文物出版社，1986年。

[31] 戴应新等:《关于〈何家村出土医药文物补证〉一文的讨论》,《考古》1983年第2期。

[32] 唐玄应:《一切经音义》，宛委别藏，台湾商务印书馆。

[33] 赵崇祚辑:《花间集》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第444碟。



# 第六章

## 两宋手工业技术的繁荣

从10世纪中期到13世纪70年代，我国存在着好几个先后并存，且激烈兼并的政权：先是辽、北宋、西夏并存，后是金、南宋、西夏鼎立，周围还有大理、吐番、回鹘等政权的割据，最后为元代所统一。宋是汉族在中原和南方建立的王朝；从赵匡胤陈桥兵变，代周称帝，到靖康之变（1127年），徽、钦二帝为金朝俘去，皆建都北方开封，史称北宋；从建炎元年（1127年）赵构继位，到祥兴二年（1279年）陆秀夫负幼帝赵昺投海，皆建都南方临安（今杭州），史称南宋。辽（916～1125年）、金（1125～1234年）分别为契丹族、女真族在东北地区建立的政权，西夏（1038～1227年）是党项族在西北地区建立的政权，它们皆长期与宋对峙。宋代在军事上是较软弱的，但其农业、手工业和商业都相当发达，同时也是我国古代科学技术发展的又一个高涨期。本章将以宋代为主，综述这一时期内整个中华民族手工业技术的优秀成果。

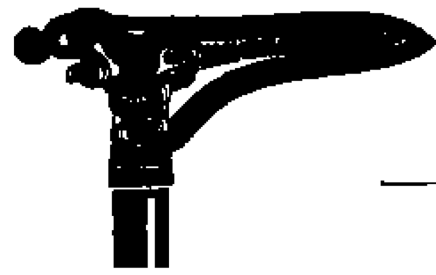
### 第一节　采矿技术

两宋是我国古代采矿技术发展的一个高涨期，不管是金、银、铜、铁等金属矿的开采，还是瓷土、煤炭、石油、井盐等非金属矿的开采，都取得了长足的进步，产量都有较大提高。此期采矿技术上的主要成就是：井盐开采中创造了“卓筒井”，日常生活和手工业用煤推广开来，发明了焦炭，对石油的认识有了进一步提高，金属矿开采中的火爆法有了明确的文献记载。

**一、卓筒井的产生和发展**

我国古代盐井大体有两种不同类型，一是大口浅井，约始于先秦，止于北宋中期，代表是唐代陵井；二是小口井，始于北宋中期，代表是北宋产生的卓筒井。

大口井技术在北宋仍有一定发展。宋沈括《梦溪笔谈》卷一三载：“陵州盐井，深五百余尺，皆石也。上下甚宽广，独中间稍狭，谓之杖鼓腰。旧自井底用柏木为干，上出井口。自木干垂绠而下，方能至水。井侧设大车绞之。岁久井干摧败，屡欲新之，而井中阴气袭人，入者辄死，无缘措手。惟候有雨入井，则阴气随雨而下，稍可施工，雨晴复止。后有人以一木盘，满中贮水，盘底为小窍，洒水一如雨点。设于井上，谓之雨盘，令水下，终日不绝，如此数月，井干为之一新，而陵井之利复旧。”这里谈到了宋代陵井的基本形态、加固方式和提升方式。在此尤其值得注意的是两点：（1）是“设大车绞之”。这是过去的文献不曾提到的。





(2) 是采用了雨盘来吸收井中阴气（主要指硫化氢等）。这是一项重要创造，是宋代采矿技术、化工技术的一项重要成就。

但不管唐代的，还是宋代的大口井，都有相同的缺点，即：（1）挖掘量大。需工人在井下施工，作业面至少要容纳一人，故“役作甚苦，以刑徒充役”。若采用漏斗形挖掘法，则井越深，作业面越大，唐代陵井“深八十余丈”，“纵广三十丈”，使用简单的锄、铲、锹、凿等生产工具，是十分艰难的。（2）固井、提卤、井下通风、照明、防止地下淡水渗入等一系列技术问题均难以圆满解决。（3）深层位盐卤难以得到开采。从四川盆地的情况看，浅层位卤水浓度一般较低，深层位则浓度较高，经长时间开采后，浅层卤水渐竭，从而使井盐产量下降，及至供不应求。于是，一种更为先进的深开凿法——卓筒井法，也就应运而生。

卓筒井约发明于北宋庆历年间（1041～1048年），较早提到这一发明的主要是下列三条文献：

范镇（1007～1087年）《东斋记事》卷四：“蜀江有咸泉，有能相度泉脉者，卓竹江心，谓之卓筒井。”范镇，华阳（今成都市郊）人，举进士，曾参预《新唐书》、《仁宗实录》的编撰，除《东斋纪事》外，还有《范蜀公集》等。

文同（1018～1079年）《丹渊集》卷三四“奏为乞差京朝官知井研县事”云：“伏见管内井研县，去州治百里。地势深险，最号僻陋，在昔至为山中小邑，于今已谓要剧（聚）索治之处。盖庆历已来，始因土人凿地植竹，为之卓筒井，以取咸泉，鬻炼盐色，后来其民尽能此法，为者甚众。”文同是四川盐亭人，文学家，1071～1072年曾任陵州太守，这是他亲自调查卓筒井后的奏文。文同调查时，卓筒井已具相当规模，“访闻豪者至有一二十井，其次亦不减七八……今本县界内，已仅及百家……每一家须役工匠四五十人至三二十人者”。

苏东坡（1036～1101年）《东坡志林》卷六：“自庆历、皇祐以来，蜀始用筒井，用圜刃凿如碗大，深者数十丈，以巨竹去节，牝牡相衔为井，以隔横入淡水，则咸泉自上。又以竹之差小者，出入井中为桶，无底而窍，其上悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。凡筒井皆用机械，利之所在，人无不知。《后汉书》有水鞴，此法唯蜀中铁冶用之，大略似盐井取水筒。”苏东坡系眉州人，去井研不远，他在此对卓筒井开凿、汲卤的基本过程作了十分简明的描述。类似的汲卤筒直到20世纪80年代在四川仍可看到，这一点，第九章第一节还要提到；显然，这种汲水筒与唐代井式水车，即筒链式的垂直汲水机械的结构存在一定关系。

这是北宋时期关于卓筒井的三段主要记载。卓，直立。苏辙《次韵洞山克文长老诗》：“无地容锥卓，年来转觉贫。”卓筒井，直筒井。

由上述记载可知：

1. 卓筒井是庆历年间出现于井研县的。较范镇稍早之人，如乐史（930～1007年），曾任陵州守，在其所撰的《太平寰宇记》中，并不见卓筒井的只言片语。

2. 卓筒井是以“圜刃”为钻具开凿的，因此，它只能采用冲击式顿凿法，即以人力踏动碓板，牵引篾索，提起钻具，用冲击力破碎井下岩石。这是继践碓之



后，对冲击式顿凿法的又一具体运用。明宋应星《天工开物》所述甚详。这种圜刃钻应是世界上较早的盐井钻头。

3. 其以巨竹去节，牝牡相衔作为大套管，以为固井和防止淡水渗入，井口大小与巨竹内径相同，这是世界上最早的套管隔水法。

4. 以活瓣式小竹筒作为提卤工具，活瓣装于筒底，竹筒往下运行时，活瓣启开，卤水入内，竹筒上提时，由于卤水的压力，活瓣关闭；一次可提卤水数斗。苏东坡认为这种活瓣式提卤筒与冶铁业中活瓣式鼓风器的原理是一致的。

5. 因其具有劳动量较小、占地面积较小、开凿时间较短等优点，故一经问世，便迅速地推广开来[1]。因此，宋代井盐生产量大幅度增长。《宋史》卷一八三“食货志·盐下”载，宋代初年，益梓夔利四州有盐井 652 口，岁鬻 323282 石；仁宗时，此四路增 96 井，岁课减 170292 石 3 斗。此井数增加，而岁课额减少，显然主要是前云大口井生产能力和产量下降之故。南宋绍兴二年（1132 年），“凡四川二十州，四千九百余井，岁产盐约六千余万斤”[2]。

我国古代盐卤生产大体上经历了四个不同的阶段：（1）发现和利用自然卤时期，由新石器时代晚期至商周。（2）人力挖掘大口井时期，商周至北宋中期。（3）采用冲击式顿凿法的卓筒井时期，由北宋中期至清代初期。（4）小口深井期，清代中晚期以后[3][1]。在井盐开发史上，卓筒井的发明是具有划时代意义的重大事件。冲击式顿凿法、活瓣式汲卤法、牝牡相衔的套管护壁法，都是卓筒井的重要技术成果。欧洲的第一批自流井约出现于公元 12 世纪，李约瑟博士认为，它很可能受到过中国人的启发[4]。

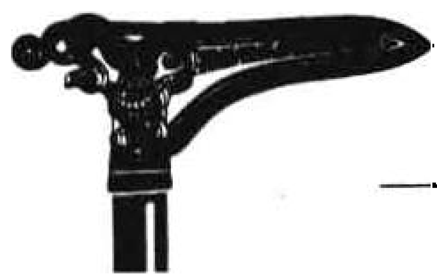
活瓣式汲卤法稍见复杂，后世之人也作过许多记述。如吴鼎立《自流井风物名实说》载：“取坚韧斑竹或南竹除皮通中，筒颠有铁梃使之坠，筒底有牛皮如钱，半翕半张。方入水时，水激钱张，水盈筒内，车一推则水下坠而钱仍翕。”

## 二、保留至今的卓筒井和大口井

### （一）保留至今的卓筒井

卓筒井自创立后，便在我国一直沿用了下来。清代早期时，卓筒井在川北曾十分发达，仅射洪一县，雍正八年（1730 年）达 2319 口，乾隆二十三年（1758 年）增 293 口，三十二年迭增 390 口[5]。清乾隆《富顺县志》卷二“卓筒井”条还详细地说了井的结构和生产情况：“井深百余丈，大径八九寸，咸水在底。以巨竹去节，入井七八丈，隔去淡水，则咸水自上。井口架二巨木，高二三丈，上置辘轳；数丈外复置车盘，以长绠系车，辘轳过绠，系竹筒入井。筒皆去节，底缀熟皮自为开闭，下入则开，水满则闭，涓滴不渗。用牛马挽上，致水数石可煎一斗。井皆人力为之，积年始成，岁久水涸，则为废井。”这种采卤法直到 20 世纪前期还在四川各地大量保存，仅蓬溪县大英乡，在 20 世纪 50 年代时还有 1170 口卓筒井，108 个灶；20 世纪 50 年代后渐被淘汰；1986 年仅存 47 井，10 灶。现存之井多位于田梗、路边或山凹中。今以蓬溪县大英乡大顺灶的“老井”为例作一介绍[6][7]。

老井位于田梗上，人力凿成，井口直径 9 厘米、井深 130 米、井口至水面 95 米。井壁上护以楠竹套管，以隔淡水，并防止井壁坍塌，套管长 23 米。汲卤设备





较为简单，值得注意之点是其汲卤筒。筒长9米，外径6厘米，用5节竹筒接续而成，筒底置有熟皮活塞，筒入卤水时，水激皮张而水入筒；提起时，水压皮而水不泄。如是凭借汲卤车的往复运动，便可不断地将卤水汲上。每筒可汲15～20公斤，日产卤约250公斤，卤水浓度9°～10°Bé[6]。

（二）保留至今的大口井

虽宋代创造了卓筒井，但大口井技术也一直沿用了下来。嵇璜等《续文献通考》卷一九载，南宋淳熙四年（1177年），四川制置使胡元质在奏疏中提到："山谷之民相地凿井，深六七十丈，幸得盐泉，募工以石甃砌，以牛皮为囊，数十人牵大绳汲取之"。这是南宋的情况，还是使用皮囊作为汲具，此为数十人牵大绳汲卤，规模也是较大的。1951年川东盐务管理局的报告中还谈到过云阳大口井："云阳盐井……井口上面，依井口大小装设木架，架的周围挂滑车，每个滑车之上装麻制绳索，绳的两端，各系一汲卤小木桶，由未着衣服的井工（因衣服经卤水浸渍，最易滥〔烂〕）用两手持绳，上下扯动，将卤水汲起，腐（俯）倾入旁边木桶，流出，进入笕杆，输到灶房制盐。"云阳县今属重庆市。这几乎可为前引汉盐井画像砖作注[3]。

在保留至今的传统大口井中，较负盛名的是始于西汉的白兔井。此井历经了两千多年风霜，虽进行过多次维修，但操作上仍保持了古井的原有风貌，对我们了解古代大口井生产状况还是很有帮助的。据白广美等1987年实测，今白兔井井口直径为3.22米、井壁直径3.94米、裸井直径4.12米、井深40.05米（井口至井底）、卤水深30.54米（井口至卤水面），卤水浓度3.8～4.0波美度。日产卤水1000米$^3$，可制盐约1万公斤。为防坍塌，井壁内筑有固井贴板。贴板用枞木板榫接，层层垒叠而成，总体呈正八棱柱体。枞木板长155厘米、宽30厘米、厚9厘米，榫接后每层构成正八角形。在井壁与贴板间填以三合土。固井贴板上端距井口约84厘米。为便于汲卤人站立，在固井贴板以上铺垫多层大方木，且渐敛口，直至井口。井口呈圆形，由20块梯形踩板围成；每块踩板成梯形，上底长52.0厘米、下底长65.0厘米、腰长54.0厘米。井口上方悬数个定滑轮。汲卤绳用棕制成。汲卤桶口径约23厘米、底径19厘米、高23厘米，每桶盛卤水约5公斤（图6－1－1）[6]。

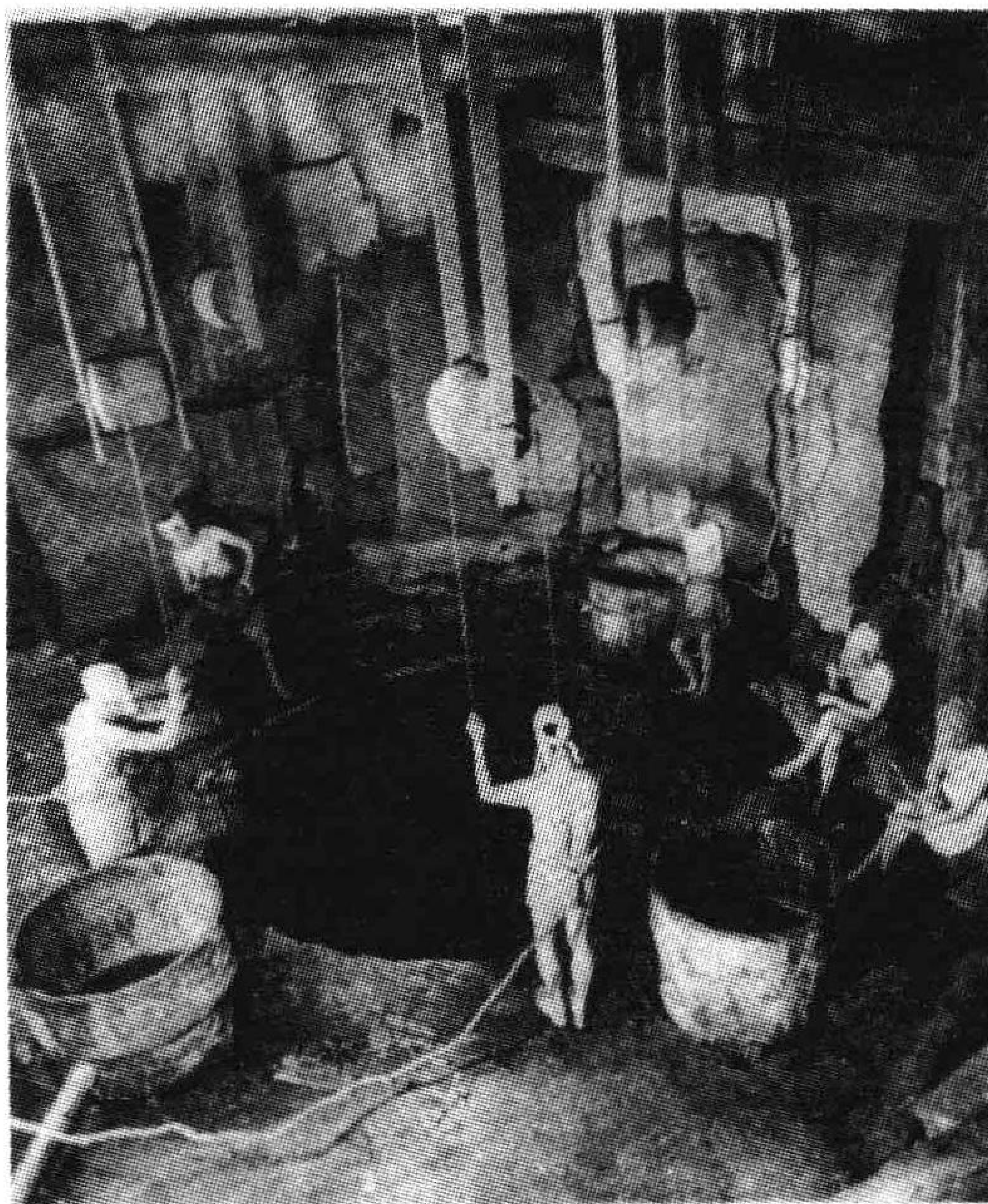
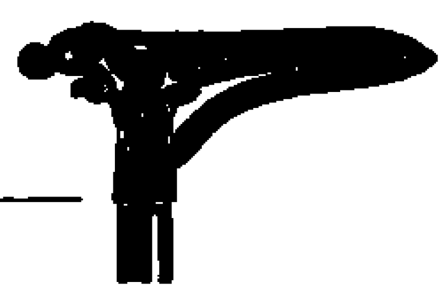


**图6－1－1　保留至今的云阳西汉白兔井**

承缪自平、刘德林提供

白兔井汲卤方式与汉画像砖所绘极其相似，唯白兔井井口稍大，周围最多可



容20人同时汲卤。桶出井口后，将卤倒入身旁的楻桶中，其底与竹枧相连，通至灶房储卤桶内，再用以煮盐。这种生产方法一直沿用到20世纪50年代[6]。

**三、采煤技术的发展和炼焦技术的发明**

宋代的采煤业获得了空前的发展，生活用煤、手工业用煤，都在我国南北较为普遍地推广开来，技术上也有了提高。

（一）煤炭开采地域之扩展

宋代南方北方的采煤区域都有了扩展，其中又以北方的河南、山西、河北、陕西、山东等地最为突出。宋朱翌《猗觉寮杂记》卷上云："石炭自本朝，河北、山东、陕西方出，遂及京师。"朱弁《曲洧旧闻》卷四载："石炭用于世久矣。然今西北处处有之，其为利甚博。"这都在一定程度上反映了宋代石炭业的兴盛情况，"处处有之，为利甚博"两句便是很好的写照。庄季裕《鸡肋编》卷中载，当时汴京居民已普遍用煤，"汴都数百万家，尽仰石炭，无一家燃薪者"。此"数百万"虽有些夸张，但大体上反映了汴京大量用煤的情况。山西采煤术此时也进一步推广开来，居民不仅炊事用煤，而且把采卖煤炭当成了谋生之计。《宋史》卷二八四"陈尧佐传"载，"尧佐议徙河东路，以地寒民贫，仰石炭以生，奏除其税"。便说到了这层意思。

南方产煤地较北方为少，陆游《老学奄笔记》卷一云："北方多石炭，南方多木炭，而蜀又有竹炭，烧巨竹为之"。但当时江西萍乡、丰城煤炭都已开采，可见宋代煤炭业之发展。宋谢维新《古今合璧事类备要》"外集"卷五五"炭产山间"注："丰城、平乡二县，皆产石炭于山间，掘土黑色可燃，有火而无烟，作硫磺气，既销则成白灰。"此云便是江西宋代产煤。

北宋时还设立了相应的煤炭管理机构。如《宋史》卷二八四载："（陈）尧佐议徙河东路，以地寒民贫，仰石炭以生，奏除其税。"《文献通考》卷一四载："熙宁元年（1068年）诏，三路支移或民以租赋赍货至边贸易以转官者毋税石炭。"不管对石炭征税还是免税，都说明其设立了相应的管理机构。

（二）煤炭使用和认识范围的扩展

宋代煤炭使用范围又有了扩展，有关记载亦较多，炊事、锻铁、陶瓷、砖瓦等都已大量使用。

宋李焘《续资治通鉴长编》卷一六四载，北宋仁宗年间（1023～1063年）大臣郑戬曾云："自河东行铁钱，山多炭、铁，鼓铸利厚"。同书卷二七九载，神宗熙宁（1068～1077年）年间，太原府韩绛云："保德以东五州，军计置不至艰甚，况本路铁矿、石炭，足以鼓铸"。《宋史》卷二六五"李昭述"载："阳城冶铸铁钱，民冒山险，输矿、炭，苦其役，为奏罢铸钱。"这三段文献都谈到了今山西等地宋时以煤冶铸之事。

宋代之后，陶瓷和砖瓦业也已普遍使用起煤来，据20世纪80年代中期的统计，考古发掘的这类陶瓷窑址至少有16处，多见于北方和今四川一带，计有：河北曲阳的定窑、邯郸的观台窑、河南禹县的钧窑、汤阴的鹤壁窑、新安的云梦山窑、陕西铜川的耀州窑和玉华窑、旬邑的安仁窑、山东淄博的磁村窑、安徽肖县的白土窑、北京门头沟的龙泉务窑、四川重庆南岸的涂山窑、彭县的磁蜂窑、广





元的瓷铺窑、巴县姜家窑、辽宁抚顺大官屯的金代瓷窑等[8]。如耀州窑，1959年曾发现4座窑址，火膛内堆积有煤渣和未曾烧过的煤末，窑门外堆有炉渣厚约0.5米；“火膛下部设有漏煤渣的炉坑”[9]。玉华窑窑址周围发现的炉灰、煤渣、匣钵、垫饼、瓷片等遗物的堆积层厚达1～2米[10]。此时也有了用煤烧造陶瓷的记载。《宋会要辑稿·食货·窑务》载:“陈康民先言，勘会在东窑务，所用柴数，仍与石炭兼用。”

宋代之后，煤炭加工成型技术也有了发展。首先是“炭墼”，即煤砖逐渐增多，据《豹隐纪谈》载，有的地方甚至出现了“家家打炭墼”的情况。其次是香煤饼的使用更为普遍。欧阳修《归田录》卷下载:“有人遗余以清泉香饼一箧者，君谟闻之叹曰：香饼来迟，使我润笔独无此一种佳物……清泉，地名；香饼，石炭也，用以焚香，一饼之火，可以终日不灭。”宋孟元老《东京梦华录》卷三“诸色杂卖”条在谈到宋东京的诸色杂卖职业有:“荷大斧斫柴，换扇子柄，供香饼子炭团……”看来，香煤饼的生产和贩卖还成了一种专门的职业。

以煤入药之事在宋代已见于药书。宋张锐《鸡峰普济方》“方卷”第十五中记有一个“补真丹”，配料中有“禹余粮、乌金石各肆两”。此“乌金石”即煤[11]。金张子和《儒门事亲》记有一个治疗腹中积滞的方子，其乌金石配入量达50%，云:“乌金石（原注：即铁炭也）三两；自然铜为末，醋熬，一两；当归，一两；大黄，童尿浸、晒，一两，为末”[12]。后世泄药中常含有较多的活性炭类物质，当是由此发展而来的。

此时人们对煤气中毒现象亦有了一定的认识。宋慈（1186～1249年）《洗冤录详义》（清许梿校）卷二“煤熏死”载:“西北人多卧火坑(炕)，每人煨烧臭煤，人受熏蒸，不觉自毙。其尸软而无伤，与梦魇死者无异。”同书卷三“意外诸毒”载:“中煤炭毒，土坑(炕)漏火气而臭秽者，人受熏蒸，不觉自毙。”“房中置水一盆，并使窗户有透气处，则煤炭虽臭，不能为害。”此既谈到了煤气中毒，还谈到了防止方法，是一段难得的资料。值得一提的是：此煤气的主要成分是一氧化碳，另外可能还有部分二氧化硫等物；“置水一盆”大约只能吸收其中的二氧化硫之类，是不能吸收其中一氧化碳的。

把石炭称之为“煤”之事，至迟始于南宋时期，除宋慈外，周密（1232～1298年）《志雅堂杂钞》卷下等也曾提到:“霍清夫云：火浣布乃北方石炭之丝，撚而织之，非火鼠鬓也（原注：石炭即煤，岂能成丝)”。煤，原指屋上之烟黑或做墨之烟黑类。《玉篇》:“煤，炱煤。”“炱，炱煤，煙尘也。”《广韵》:“炱煤，灰集屋也。”沈括《梦溪笔谈》卷二四“杂记一”:“鄜延境内有石油……燃之如麻，但烟甚浓，所沾幄幕皆黑，予疑其烟有用，试扫其煤以为墨。”元《古今韵会举要》卷四:“煤，炱。煤灰集屋者。”“煤”又作“霉”。清光绪《崇庆州志》卷五“物产”:“霉炭，产西八甲万家坪山上，有亮炭、火炭、双龙泡炭等名。”直到现在，南方民间仍把烟黑称之为“煤”的。煤的称谓的一般演变情况是：由汉到北宋，常称之为“炭”、“石墨”、“石炭”；南宋之后，又新增了“煤”、“煤炭”之称，“石墨”之称则逐渐减少；清代之后，“煤炭”和“煤”逐渐流行；“石炭”一词则一直沿用到20世纪前期，20世纪后期便很少再用。



（三）开采技术上的进步[8][13]

这方面的文字和实物资料都不是太多，宋代采煤遗址目前仅见河南鹤壁遗址等处。鹤壁古矿址发现于1959～1960年，有井筒一个、较大的巷道4条、排水用蓄水井一口、采煤区（工作面）10个，以及部分提升、排水、运煤、照明等工具和许多生活用具[13]。从发掘情况看，其开采技术已相当进步，在井筒位置的选择、采场布置和开采、提升、排水、运输、照明等技术上，都达到了较高水平[14]；原断代为宋元时期[13]。1999年时，有学者将它定到了北宋，主要依据是伴出物中的许多瓷器与鹤壁集窑所出北宋早期瓷器比较接近[15]。是迄今所见年代最早且最为完整的古煤矿井。下面介绍一下有关的技术内容。

关于井筒位置的选择。鹤壁古矿的井筒呈圆形，直径2.5米，深约46米。其位置选择相当准确、合理；从横向看，它大体处于几个采煤区的中心；从纵向看，井底巷道正好在井田中央，上下“皆为厚6米的自然煤层”。说明当时的煤田地质知识及找煤方法已相当成熟，不然是很难将46米深的立井打到煤层中心的。

巷道布置。该矿井有两种巷道：（1）主巷道，计两条，断面较大，皆只发现部分残段，段长分别为4米和6米，高皆2.1米，宽皆2米。（2）分巷道，较长者约有4条，全长约500米，通向各采区。高1.0米，上窄（1.0米）下宽（1.4米），故顶板压力不大，均无顶柱承托。

关于工作面和回采方式。古采煤遗址计发现10个采区（工作面），与井口的距离介于10～100米间，各采区间保持一定距离，并以保留的煤柱相隔（即所谓房柱法），以减少采区顶板的压力，各采区虽无支护，迄今仍未完全塌落，可见其采区布置是较为合理的。此古矿井采用房柱法回采方式进行开采，在工作面内则是由近及远的冒落法，突破一点后，向里并向两帮掘凿，在落煤中已经采用掏槽法。

需顺带说一下的是：这种房柱法不但在采煤中，而且在其他采矿工作中也常有使用。屈大均《广东新语》卷五“石语·端石”条载：宋治平（1064～1067年）间，在端溪开采砚石，“昔人取石留数柱，虞其颓圮。今名为东留柱，西留柱，亦取之，以木柱代矣。”即是说，宋人采用房柱法采砚石，从而留有柱石；明清时期，人们把此柱石也采掉了，且以木柱代替了原有的石柱。

关于照明。鹤壁古矿巷道的两壁以及巷道的交岔处，计开凿有100余个圆形、近似长方形的灯龛，内置瓷碗和瓷盘，以作“灯”用，且有贮油用的瓷瓶和瓷罐。在煤壁上设置灯龛，这是我国煤窑工人的一项创造。

关于运输、提升和排水。鹤壁古煤井下发现有许多编筐，部分扁担，一架辘轳和一口“水井”，说明它是先把煤挑到井筒底部，之后再用辘轳提到井上的。“水井”则说明它采用了集中排水法，先把矿井内之水引入“水井”，后用辘轳集中排出。

鹤壁古煤矿的井下通风法尚不了解，有待进一步发掘和研究。

（四）焦炭的使用和炼焦技术的发明

我国古代炼焦技术发明于何时，学术界尚无一致意见。今日所见最早的用焦实例属于金大定（1161～1189年）时期。1978～1979年，山西稷山县马村两座金





代砖墓出土了煤炭和焦炭各250公斤，此焦与今无异。墓葬年代下限不晚于金大定二十一年（1181年），上限为北宋晚期。这批墓葬皆无棺椁，尸体置于砖床上，焦炭和木炭出于床下，床的四周有栏杆[16]，此焦炭大约是为防腐、防潮的。这是我国古代用焦的最早的实例。又，1957~1958年，河北邯郸峰峰矿区的观台镇发现两座古代瓷窑，以及三座炼焦炉。遗址断代为宋元时期[17]。由这考古实物看，金代已有焦炭无疑，再结合唐代已有炼煤技术来看，北宋发明出炼焦术也是可能的。

在现有资料中，我国关于炼焦的记载是到了明代才看到的。

**四、金属矿开采技术的进步**

（一）铁矿开采技术

此期见于文献记载的采矿地点不少，古矿洞则在河南、黑龙江等处都有发现；但技术资料不是太多，创造性成就更少。下面仅介绍两个遗址的情况。

林县申家沟宋代采矿遗址。此采矿场今仍为安阳钢铁厂沿用，古矿洞位于今安阳钢铁厂第二、第三采区内。1973年采掘时，第二采区被炮炸出了3个古矿洞；3洞相连，长度约20余米，洞高1.3米，洞壁及顶部被熏黑，洞外有矿粉约40万吨。经分析，含铁量为67.1%。因古代用打钻法开采，粉矿常占2/3左右，故当时所得块矿当为20万吨。第三采区内也发现了3个古矿洞，其中北洞最高处约1.6米，最低处约0.6米，洞宽3.4米，亦发现了大量粉矿等物；粉矿中伴出物有7件锻制的铁锤、1件阳文铭“祯”字铁权、6件铁镢。此整个采区皆为磁铁矿，皆含一定量的硫。此外，西南寨等处也发现了宋代古矿洞，石村发现有唐宋古矿洞，但其开采和支护方法皆无法进一步了解[18]。

黑龙江省阿城县五道岭金代铁矿。1958~1959年时发现过10余个古矿洞，大体都是沿矿脉开采的。斜向延伸最长达40余米，坑道沿矿脉呈螺旋阶梯式下降，坑道宽约1.5米，高约2米；至洞底时，每隔一定距离便有一个宽敞的作业区；坑道与作业区相连处均有油烟熏过的痕迹。被废弃的矿石、粉矿皆回填在采坑内。坑内发现有大量坑道顶木，长约1~1.5米，直径5~10厘米。古矿洞内先后发现的遗物有：北宋铜钱“熙宁元宝”、“元丰通宝”各1枚，开凿工具有生铁锤、熟铁锤、铁钻，照明用具有灰陶灯碗，运输工具有编织筐等；灯碗平底，底部有轮制旋纹，内外均附有一层油垢[19]。

（二）铜矿之开采

在此最值得注意的是管理制度的变化，以及火爆法和井下毒气排除法的使用。

《宋会要辑稿》“食货”三四之二四载：南宋嘉定十四年（1221年）十月僚臣言，嘉定以前，铜矿的正常开采都有一套严格的管理制度：“照得旧来铜坑，必差廉勤官吏监辖，置立‘隔眼簿、遍次历’，每日书填：某日有甲匠姓名，几人入坑及采矿几箩出坑；某日有矿几箩下坊碓磨；某日有碓了矿末几斤下水淘洗；某日有净矿肉几斤，上炉烀炼”。嘉定之后，既不差官，又无隔眼簿和遍次历，且不按时发给匠人工资，管理十分混乱。可见铜矿开采的生产工艺流程是：（1）入坑采矿；（2）将矿石碓磨成粉矿；（3）浮选；（4）上炉冶炼二十日。

我国古代水利方面的火爆法记载较早，但采矿方面的火爆法却是到了宋代才见于记载的，这在采铜、采金中都可看到。洪咨夔《大冶赋》在谈到黄铜矿开采



时说:"宿炎炀而脆解，纷剞劂而巧斩。批亢轰博浪之椎，陷坚洞混沌之凿。岩云欲起而复坠，石火不吹而自跃；磅磅驰霆，剥剥洒雹……共工触不周而地维断，神禹劈伊阙而龙门拓。"炎，极热；炀，烘烤、焚烧。亢，咽喉；批亢，抓住要害；博浪之椎，源于张良使力士以铁锤于博浪沙狙击秦始皇的典故。"宿炎炀而脆解"一句显然是指矿石极热后的酥解。这整段引文描写的便是火爆法开采及其壮观场面，其气势如共工触不周之山而地维折断，神禹开伊阙而龙门拓开。

宋孔平仲《谈苑》卷一载:"韶州岑水场。往岁铜发，掘地二十余丈即见铜。今铜益少，掘地益深，至七八十丈。役夫云，地中变怪至多，有冷烟气，中人即死。役夫掘地而入，必以长竹筒端置火先试之，如火焰青，即是冷烟气也，急避之，勿前乃免。"[20]在此值得注意的是两个方面：一是开拓深度，初期为二十余丈，后发展到了七八十丈。若这为完全的竖向深度的话，那是较深的。二是地下毒气排除技术。看来，在宋代井下有害气体的排除法已被人们广泛采用。

（三）沙金之开采

宋代之后，淘金技术有了较大发展，这主要表现是：

溜槽淘金法有了明确记载。我国古代的采金法约有手选法和淘洗法两大类；淘洗法又包括重砂法和溜槽法两种；重砂法发明较早，使用范围较宽，流行时间也较长，依所用工具之不同，又有淘槽法、淘盆法和淘筛法等，工作原理都是利用了矿物的重力差。我国铜矿选洗的溜槽始见于战国西汉时期，即湖北大冶铜绿山所出者，其始定为水槽，后又经有关专家详细鉴定，改定为淘槽[21]。淘金之溜槽也可能使用较早，但也是到了宋代才见于记载的。宋朱彧《萍州可谈》卷二载："两川冶金，沿溪取沙，以木盘淘，得之甚微且费力。登莱金坑户止用大木锯剖之，留刃痕，投沙其上，泛以水，沙去，金著锯纹中，甚易得。"此溜槽的结构和操作都谈得较为明白。溜槽法的发明和推广，使生产力大为提高。1984 年，笔者曾到招远调查，类似的方法仍在使用。

（四）脉金开采始见于记载

我国古代关于脉金开采的明确记载始见于宋，不但文字明晰，而且多处都有记述。这是宋代采矿技术的又一重要成就。

《宋会要辑稿》"食货"三四之一五载:"绍圣三年（1096 年）湖南转运司言，潭州益阳县金苗发泄，已差官检视置场，今体访得先碎矿石，方淘净金。"此"先碎矿石，方淘净金"，这显然是指脉金开采言；若非脉金，是无须"先碎矿石，方淘净金"的。这是宋人开采脉金的确切证据。

宋洪咨夔《大冶赋》在谈到黄金采取时，也有过类似的描述。云:"渠阳泽铣，毓奇溪洞，寻苗厮汋之邃；破的礩壁之壅，焮以火则流脂铁笼之烈，淬以水则舂糜铅杵之重。"此前三句指找矿，后三句则指脉金之采掘，最后一句应指火爆法开采和碎矿。显然，若非脉金，是无需"淬以水"的。洪咨夔（1176～1236 年），字舜俞，号平斋，宋临安于潜人，南宋嘉定二年（1209 年）进士，授如皋主簿，寻试为饶州教授；此"赋"当为这一时期所作。入朝后曾官至刑部尚书、翰林学士等职。

《关尹子·六匕》也有一段关于脉金开采的文字:"我之为我如灰中金，而不若

砂之金；破矿得金，淘砂得金，扬灰终身无得金者。”此“破矿得金，淘砂得金”，正好说到了我国古代黄金开采的两项基本工艺，即脉金开采和砂金开采。《关尹子》，旧题周尹喜撰，《汉书·艺文志》曾有著录，但《隋书·经籍志》等不载，可知原书久佚。今本为宋人伪撰，这条文献不会晚于宋代是肯定的。

脉金开采技术的发明，不但拓宽了黄金资源，而且扩充了人们的矿物学知识。

（五）对自然金的形成有了新的看法

宋范成大(1126～1193年)《桂海虞衡志·志金石》载:“生金出西南州峒，生山谷田野沙土中，不由矿出也。峒民以淘沙为生，坯土出之，自然融结。成颗大者如麦粒，小者如麸片。”依范成大的意思，生金，即沙金，是自然融结成的，而不像脉金那样出于矿中。这是个相当大胆而出色的见解。新近研究认为，砂金是在金的原生矿风化后，经过多次富集、结集、叠加、再生，不断地表面活化而最后形成的；此过程既有机械作用，也有化学、物理和生物的作用，就连大块狗头金也应当是在砂矿床和矿床氧化带中“长大”的[22]。此“融结”二字原是指流体、胶融体之聚集和固化，在此却十分生动地描述了砂金的形成过程，用得非常之妙。虽宋人尚不可能认识到其中的许多科学道理，但“融结”之说无疑是一种大胆的探索。范成大于隆兴中（1163～1164年）为静江（今桂林）地方长官，此书系记其见闻所得。

周去非《岭外代答·金石门》也谈到过自然金的形成过程:“凡金不自矿出，自然融结于沙土之中，小者如麦麸，大者如豆，更大如指面，皆谓之生金。”其中有的说法与范成大有些相类似，很可能是从范书中借用过来的。周去非曾于淳熙中（1174～1189年）任桂林通判，有人问岭外情况，因作此书以答。

（六）白银开采技术

我国古代白银采冶技术约发明于先秦时期，汉唐便有了记载，宋代便稍见详明起来。

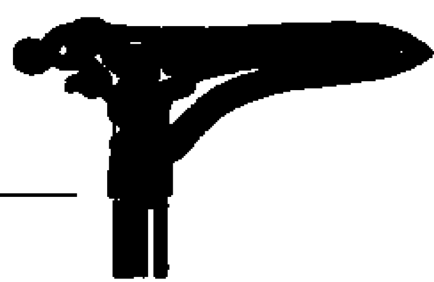
宋赵彦卫《云麓漫钞》卷二云:“取银之法，每石壁上有黑路乃银脉，随脉凿穴而入，甫容人身，深至十数丈，烛火自照。所取银矿皆碎石，用臼捣碎，再上磨，以绢罗细，然后以水淘，黄者即石，黑者乃银。”这里说了两个问题，即（1）辨认矿脉和采矿。说石壁上的“黑路”即是银脉，坑道甫容人身，开采时须以烛火自照。（2）破碎和选矿。其中包括捣碎矿、上磨、以绢罗细、以水淘洗。

宋代还开始了对银矿的简单分类。《太平寰宇记》卷一〇一载:“龙焙监。建州建安县（属福建）南乡秦溪里地。以本州地出银矿，皇朝开宝八年（975年）置场收铜、银。至太平兴国三年（978年）外为龙焙监，凡管七场。”人们还依据外部形态，对当地银矿石进行了分类，分别有黄礁矿、黑牙礁矿、马肝礁矿、桐梅礁矿、黑牙矿、光牙矿，以及白矿、松矿、土卵白矿、红礁夹生白矿、赤生铜矿、水镶矿等不同类型[23]。

**五、对石油的认识和利用**

宋代之后，人们的石油知识又有了进一步扩展，并出现了“石油”一词。

沈括《梦溪笔谈》卷二四载:“鄜延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。生于水际、沙石，与泉水相杂，惘惘而出。土人以雉尾挹之，乃采入缶中，颇似



淳漆，燃之如麻，但烟甚浓，所沾帷幕皆黑。予疑其烟可用，试扫其煤以为墨……此物后必大行于世，自予始为之。盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭。今齐鲁间松林尽矣，渐至太行、京西、江南，松山大半皆童矣，造煤人盖未知石烟之利也。石炭烟亦大墨人衣。予戏为延州诗云：‘二郎山下雪纷纷，旋卓穹庐学塞人；化尽素衣冬木老，石烟多似洛阳尘。’”此“鄜延”为北宋路名，包括鄜州府和延安府，相当于今陕西延安地区。此“煤”指制墨之烟黑，而非煤炭。可见，(1) 宋代已出现“石油”一词，这是我国古代最早提到这一名称的地方；(2) 沈括还发明了以石油烟黑的制墨工艺；(3) 沈括已认识到石油“生于地中无穷”，之后“必大行于世”。这是很有见地的。

石油在当时战争中的作用依然主要是燃烧，它使火攻在战争中的作用和地位又得到了加强。王得臣《麈史》卷一载，宋代中央的军器监下设有一个“广备攻城作”，计11个部门，即:“火药、青窑、猛火油、金火、大小木、大小炉、皮作、麻作、窟子作是也”。其中的“猛火油”即是石油，可见它已成为宋代一种重要的战略物资。宋代还发明了一种名叫“猛火油柜”的喷火器，本章“机械技术”一节再作介绍。

此外，北宋末年康与之《昨梦录》云:“西北军城边库，皆掘地作大池，纵横丈余，以蓄猛火油。不阅月，池土皆赤黄，又别为池而徒焉。不如是，则火自屋柱延烧矣……他物遇之即为火，唯真琉璃器可贮之。中山府（今河北定县）治西有大陂池，郡人呼为海子，余犹记都帅就之以安水战，试猛火油，池之别岸为虏人营垒。用油者以油涓滴自火中过，则烈焰遽发，顷刻虏营净尽。油之余力入水，藻荇俱尽，鱼鳖遇之皆死”。这里谈到了猛火油用于军事的一些情况，及其腐蚀性能、燃烧性能。

前面提到，早期石油是自然流出，露天采取的，大约宋代依然如此，这是最为原始的工艺。

## 第二节　金属冶炼和加工技术

两宋是我国古代金属技术发展的又一高涨期，许多金属制品的产量、质量都有较大提高，工艺上更为娴熟，并有不少创新，尤其北宋时期。两宋金属技术的主要成就是：冶铸炉上使用了活门式风扇，炼铁炉技术有了较大提高；灌钢、百炼钢技术有了发展；胆铜进入了大规模生产的阶段，以炉甘石配制黄铜的技术有了明确记载；砷白铜，以及金、银、汞的冶炼技术有了进步；出蜡铸造、沙型铸造、金型铸造又有了新的发展；钢铁冷锻技术、花纹钢技术、青铜热加工技术有了提高；加轴剪开始推广，很可能还发明了铜、铁拉拔技术；锻件在生产工具中进一步取代了铸件的地位，许多器物的形制与近现代的已经十分接近；金属制品已在较大程度上满足了社会生产和社会生活的多种需要，人们对各种金属的性能亦有了更深的认识。

### 一、炼铁技术的发展

此期的冶铸铁遗址在南北许多地方都有发现，大家较为熟悉的有河北邢台[1]、

沙河[2]、河南林县、安阳、南召[3]、广东曲江[4]、福建同安[5]等冶铸遗址，以及黑龙江阿城金代冶铁遗址等[6]。其中又以林县、安阳、南召等处炼炉保存较好。这些冶址的使用年代不尽相同，有的为宋、元，有的延续到了明。

（一）筑炉技术的提高

从古代遗址的发掘和调查情况看，此期炼炉具有4个比较明显的特点。

1. 相当部分是利用山坡地形，依山傍沟建造的，这种炉子在河南林县铁炉沟唐、宋冶铁遗址，安阳铧炉村宋、明冶铁遗址[3]等处都可看到。优点是可减少筑炉工时，增强炉体牢固性，便于操作。人们可利用上坡平台上料，利用下坡平台送风、出铁、放渣，这种构筑法在唐、宋以前是不曾看到的。

2. 多数炉子尺寸不大，如林县铁炉沟唐、宋炼炉，直径约0.8~0.9米，这不但便于生产管理，更重要的是在鼓风能力不是太强的情况下，还有利于炉况顺行。

3. 炉体常用红色和白色的沙质鹅卵石构筑，一定程度上可提高炉体牢固性，这在铧炉村宋、明冶铁遗址和林县铁炉沟唐、宋冶铁遗址等地都可看到。

4. 部分炼炉已具有明显的炉身角和炉腹角，如南召下村炉身角为78°~80°，与炉料向下和煤气上升这两大运动中单位体积变化的规律较为适应。

南召下村发现一处宋、元冶炼遗址[3]，面积1.6万平方米，现存残炉7座，其6号炉保存较好，残高3.9米，炉壁厚0.8~1.0米、内径3.5米、外径6.1米。炉壁均采用河卵石砌筑，石缝间填以耐火土，石壁外为一层厚0.5米的红烧土。下村高炉炉缸部位砌筑坚固细致，没有缝隙，储存的铁水不易渗漏；炉体上部，尤其是外壁，则砌筑较为粗糙，说明人们对冶炼过程中炉体破坏情况已有较深认识。

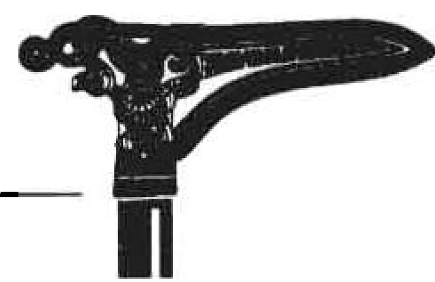
安阳粉红江宋、明冶炼遗址发现炼炉3座，1号、3号炉保存较好，1号炉残高4米、炉径4米[3]，在断崖处挖成圆井状，以河卵石构筑炉壁，石壁之外为土壁。

阿城小岭炼炉往往筑于黄土岗上，炉壁多用花岗岩构筑，有的底部也铺有石块，炉底有圜底（呈锅底状）和平底，有的炉基下还筑有风沟。其五道岭一座的炉壁以花岗岩筑成，厚约30厘米，其中约有5~10厘米厚已经烧黑，并附有铁渣；炉子平面呈长方形，残高90厘米、长宽110厘米×75厘米。炉门宽45厘米，炉底亦花岗岩筑成。炉壁外为原生黄土。其东川2号炉残高2.1米，炉膛长宽各0.8米；炉膛用花岗岩砌成，厚约56厘米；炉内壁抹有一层耐火土，业已烧成熔融状。炉底呈锅底状，底部尺寸约60厘米×55厘米、深约15厘米。炉基下有一风沟，由4块石板作为四壁，石板长80厘米、宽65厘米、厚7厘米；风沟长约1.2米，直达炉的后壁。石板上铺有厚达17厘米的耐火土。炉底曾抹过两层耐火泥内衬[6]。但关于阿城金代炼炉的操作工艺尚待进一步研究。

（二）鼓风技术的进步

此期鼓风技术上较值得注意的事有二：一是有了关于活瓣式木扇送风的十分明确的图示资料；二是有可能在蜀中使用了活塞式风箱。

曾公亮等所撰《武经总要》“前集”卷一二载有一幅“行炉”图，此炉是用于化铁，以泼敌人的。行炉旁置有一个梯形木扇，木扇上有两个小孔，应为进风活门，其上当有活瓣。扇板与箱架间原应有皮革等物构成密封式活动连接（图



略）。该书成于北宋庆历四年（1044 年）。

“行炉”一词早在唐代中期便已出现，成书于唐乾元二年（759 年）的李筌《神机制敌太白阴经》卷四“战具·守城具”条：“行炉，常镕铁汁，炉舁行城上，以洒敌人。”所述虽然甚简，且无图示，但其行文用词与《武经总要》颇为相似，故很可能唐代便使用了类似的行炉、风扇和守城方法。

年代较《武经总要》稍后的敦煌榆林窟西夏（1038 ~ 1227 年）锻铁图上亦载有木扇（图 6 – 2 – 1）送风的形态，推动木扇的拉杆，扇板启闭，牵动活瓣启闭便可起到鼓风作用。这都是最早的活瓣式风扇图示资料。

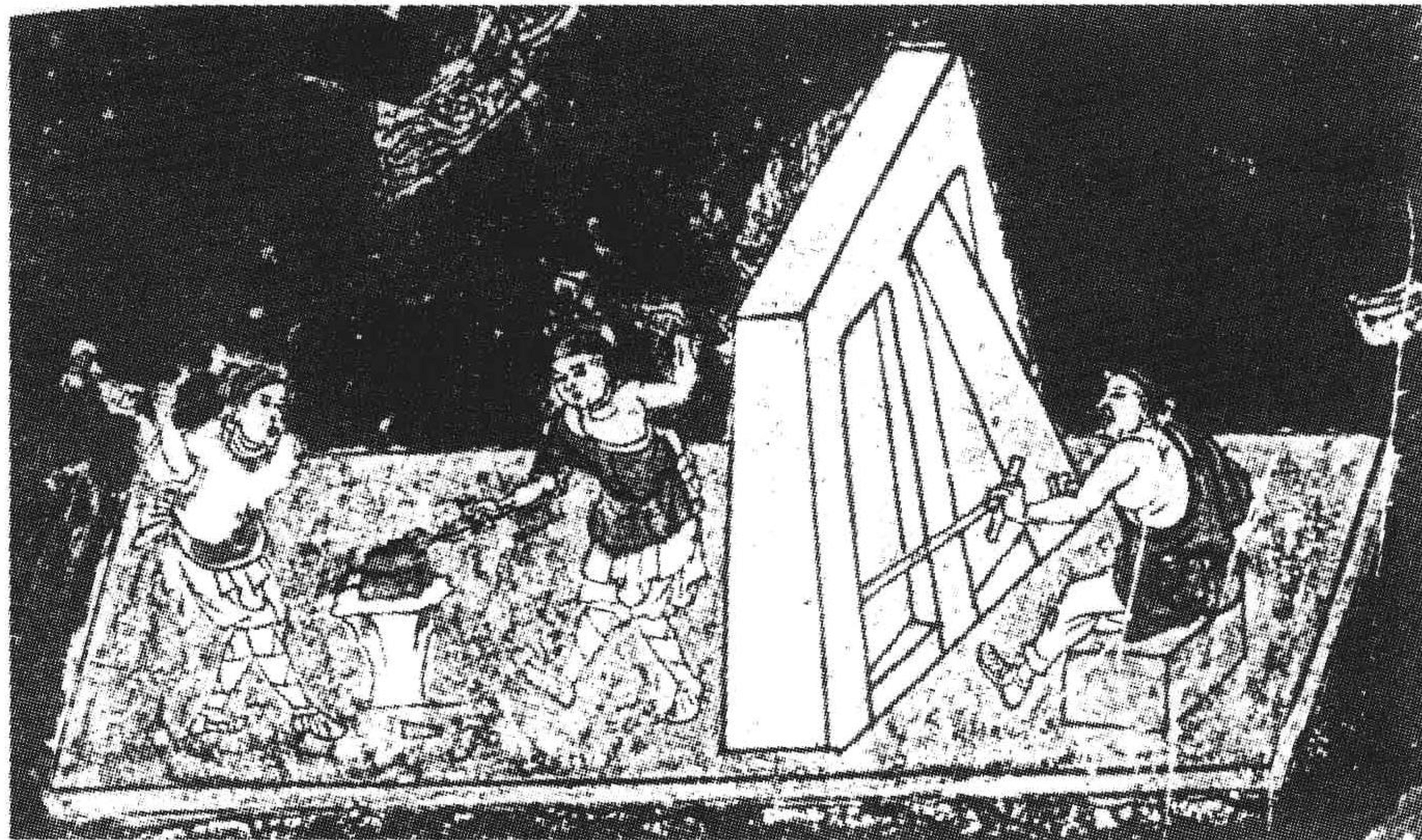


**图 6 – 2 – 1　敦煌榆林窟西夏锻铁木风扇**

采自白金波等《西夏文物》第 39 图，文物出版社，1988 年

（按：此图在榆林窟第三窟内室东壁南端千手千眼观世音法光两侧上部，左右对称，一式两幅。图中绘铁匠 3 人，一为坐式，正在推拉风扇；一人左手握住火钳，挟坯件置于砧上，右手举锤；一人双手抡锤准备锻打。）

在宋代资料中，与活塞式风箱有关的资料主要有两条。

（1）前引《东坡志林》卷六所云提取卤水的木桶，其“无底而窍，其上悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之”。苏东坡还说“《后汉书》有水韛，此法唯蜀中铁冶用之，大略似井盐取水筒”。显然，前段文字说的是卓筒井汲卤法，类似的方法在明清文献中多有记载，且直到 20 世纪 80 年代还可看到。后段说蜀中冶铁用鼓风器“大略似井盐取水筒”。若如此理解不错的话，宋代蜀中冶铁便有可能使用了活塞式风箱。

（2）《武经总要》“前集”卷一二所云“猛火油柜”，其实是一种单缸、单拉杆、双活塞的，用来攻击敌人的喷火器[7]。此至少说明，“活塞”这一机件在宋代已非稀罕之物。关于它的具体结构本章机械部分再作介绍。

由这些资料看，宋代在蜀中使用了活塞式鼓风器的可能性是存在的，但我国古代关于活塞式风箱的更为明确的记载和广泛使用，是明代的事。

（三）关于宋代的冶铁燃料

宋、元冶铸用燃料依然主要是木炭；坩埚冶铁中自然使用过煤炭的。这是总的情况。此外还有两种可能：一、可能使用过少量焦炭，因金代已经炼焦；二、可能在高炉中使用过少量煤炭。但这后二者，即高炉用焦、用煤冶铁，其数量都应是非常少的。

以往不少学者都曾认为我国宋、元时期曾经用煤冶铁，其主要理由：一是苏轼《石炭》诗[8]中的有关文字；二是部分宋代铁器含硫较高。其实这都是不太牢靠的。

《石炭》诗计16句，前4句说彭城曾遇雨雪，连百姓做饭、取暖都发生了困难；中间8句说山中发现了煤炭，使万人鼓舞千人看；与冶铁有关的文字是诗的最后4句，及诗的序言。最后4句是这样的："南山栗木渐可息，北山顽矿何劳锻；为君铸作百炼刀，要斩长鲸为万段。"诗"序"是这样的："彭城旧无石炭，元丰元年十二月始遣人访于州之西南，白土镇之北，以冶铁作兵，犀利胜常云。"显然，诗中说到了以煤炭锻(煅）矿，序中说到了以煤炭冶铁。但这是文学作品，其真实含义如何，我们是不了解的；若以此作为宋代高炉冶铁的依据，则有两件事很难理解：（1）从现代技术观点看，因石炭热稳定性较差，受热后易于爆裂成粉状，并堵塞煤气通道，从而影响高炉透气性，还会造成炉况不顺和悬料、崩料，所以直到近现代，高炉直接用煤冶炼还是较为困难的。笔者认为宋代高炉即使用煤，也是少量的、试验性的。（2）因石炭生铁一般含硫较高，炒炼出来的钢一般亦含硫较高，就容易发生热脆，是很难锻造的。故在古代技术条件下，石炭铁或者石炭钢是很难达到苏轼所云"犀利胜常"的。为此，我们推测，苏轼所说锻矿、"冶铁"可能有三种含义：（1）用煤冶炼坩埚铁。（2）先将煤炼成焦炭，之后再在高炉中以焦炭炼铁。（3）诗"序"所说"冶铁作兵"，原是锻铁作兵之意，因锻，小冶也。

至于部分宋、元生铁含硫量较高，这有两种可能：一与矿石有关。生铁中的硫主要有两个来源，即燃料和矿石；把部分生铁含硫较高的原因都归于燃料，是不适合的。二可能是坩埚生铁。把高硫生铁都视为高炉生铁也是不合适的。

**二、炼钢技术的发展**

见于文献记载和考古发掘的宋代制钢工艺主要有炒钢、灌钢和百炼钢三种。

（一）炒钢技术的发展

炒钢是我国古代可锻铁生产的基本工艺，汉代之后一直不断地发展。灌钢、百炼钢、渗碳钢等，实际上都是对炒炼产品的进一步加工。此期炒钢技术发展的一个重要标志是：除少数特殊品种外，锻制的生产工具、生活用具已基本上取代了铸件的主导地位；许多生产工具已向小型、轻便方向发展，器形与近现代的较为接近。

汉代过后，与炒钢有关的冶炼遗址很少看到。1977年铜绿山出土了17座宋代炒炼炉，为我们了解宋代炒钢技术的发展提供了十分宝贵的资料[9]。此炉结构简单，系由地面向下挖一圆坑而筑成。炉缸总体成缶形，较浅、较小；直径约0.5米，其中14号炉风口区的直径为0.4米，向上稍有扩大。炉子上部结构不明，估



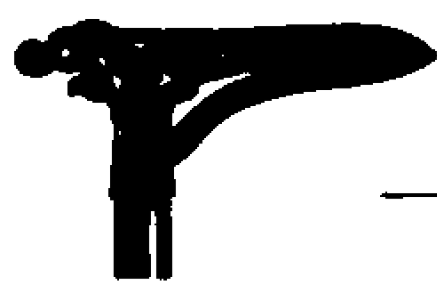
计其高度不超过1米。炉底无防潮风沟。炉缸用高岭土、磁铁矿粉及砂岩粉混合后夯实，上面再抹以厚约2厘米的砂岩粉、木炭粉及高岭土混合料。炉壁由黄泥构筑，内用高岭土涂抹。有风口一个，位于渣口的对面。炉缸皆曾多次修补，每次修补量都较大，风口对面侵蚀尤为严重。炉子分布密集，17座炉子都排列于320平方米的范围内。类似的炉子此前还在附近发现过12座，形制基本相同，可惜已毁。说明此处在宋代曾是一座规模较大的炒钢作坊。

此时，人们对诸铁碳合金间的关系有了进一步认识，有关钢铁方面的知识亦开始系统化起来。宋苏颂《图经本草》所云："初炼去矿用以铸泻器物者为生铁，再三销拍，可以作鍱者为鑐铁，亦谓之熟铁，以生柔相杂和，用以作刀剑锋刃者为钢铁。"[10]即是说：最初从竖炉中冶炼出来，去除了"夹杂"，用以铸造器物的叫生铁；经过了再三熔融、锻打，可以锻成铁片的叫"熟铁"；将生铁和"熟铁"混合冶炼，用来制作刀剑锋刃的叫做钢铁。在此，苏颂提出了区分三种铁碳合金的两个标准：一是它的冶炼工艺，二是产品性能。"初炼去矿"指高炉冶炼，"再三销拍"指炒炼，"生柔相杂"指灌炼，这都是冶炼工艺。"用以铸泻器物者"是指生铁性能和功用，因生铁只可铸，不可锻；"可以作鍱者"指"熟铁"性能和功用，因其塑性、可锻性较好；"用以作刀剑锋刃者"指钢的性能和功用，因其刚性较好。这是我国古代对三种最为基本的铁碳合金较为系统的认识和分类。在当时技术条件下，这种分类标准和方法都是较为科学的。苏颂（1020～1101年），北宋晚期人，官至右仆射兼中书门下侍郎，在天文学和本草学上都作出过重要贡献。对铁碳合金的分类和定义，梁陶弘景和唐苏敬都作过一些工作，《重修政和经史证类备用本草》和《本草纲目》都有引述，但无苏颂说得系统和确切。

（二）灌钢技术的发展

我国古代灌钢技术约发明于东汉晚期，但关于灌炼操作的记载却是到了宋代才看到的。这些大约都与造纸术、印刷术的发展有关。沈括（1031～1095年）《梦溪笔谈》卷三"辨证一"说："世间锻铁所谓钢铁者，用柔铁屈盘之，乃以生铁陷其间，泥封炼之，锻令相入，谓之团钢，亦谓之灌钢。"这是我国古代关于灌钢具体操作的最早记载。此"锻铁"原指可锻铁，可以锻打的铁碳合金。"钢铁"即"刚铁"，具有刚性的"铁"，指灌钢。"柔铁"，即具有柔性，刚性较低的炒炼产品。此把灌钢直呼之为"钢铁"，也说明了灌钢工艺在当时的发展状况和重要地位。此"封泥"的目的：（1）为减少加热过程中的氧化脱碳。（2）为防止生铁熔化后的流失，使之更好地与柔铁作用。（3）使"铁料"各部均匀受热[11]。昔有学者认为"封泥"是"把炉密封起来烧炼"[12]。这是值得商榷的。密封起来了，是既不能烧又不能炼的。

在此有一点需指出的是：宋周去非《岭外代答》卷六谈到过一种"梧铁淋铜"的工艺，其实应是"淋钢"（"淋铁"）之误。其"梧州铁器"条云："梧州生铁，在熔则如流水……诸郡铁工煆铜，得梧铁杂淋之，则为至刚，信天下之美材也。"同卷"融剑"条说："梧州生铁最良，藤州有黄岗铁易，融州人以梧铁淋铜，以黄岗铁夹盘煆之，遂成松文，刷丝工饰，其制剑亦颇钴，然终不可以为良。"此"淋"，即灌；淋铜，应即淋钢之误。此"以黄岗铁夹盘煆之"，"以梧铁淋"之，





其行文、用语，与前引沈括所云是一样的，显然是指灌钢工艺。此“松文”即花纹钢之纹理，前云汉张协《七命》在谈到灌钢工艺时，也说灌钢有花纹。“终不可以为良”实是周去非的一种误解，认为只有百炼钢才是真钢，灌钢操作十分简便，则被宋人当成了“伪钢”。曾有人认为此梧铁淋铜是“合金铁”、“合金钢”或“铜合金铁”[13][14]，这是值得商榷的。因为：（1）铜与生铁的基本物理化学性能相差很大，要将生铁“淋”到铜上，使之焊合为一，且成为至刚至美之物，这是十分困难的；在技术上很难实现，道理上也不好理解。（2）“梧州铁器”条说“铁工煅铜”，于情理不顺；说诸郡皆是如此，更有些不好理解。从逻辑上讲，应当是铁工煅(锻)铁、铜工煅(锻)铜。（3）“融剑”条的第一、二句说的是梧州生铁和可以夹盘起来的黄岗铁；第三句却说梧铁淋铜，前后不协调。（4）在我国，以及汉文化区的其他地方，再未看到过以生铁水淋到铜上的工艺。

（三）百炼钢技术之发展

百炼钢应是在炒钢加工过程中发展起来的，其始约可上推到东汉早期，与灌钢同样，有关其具体操作的记载亦是到了宋代才看到的。沈括《梦溪笔谈》卷三说:“予出使至磁州，锻坊观炼铁，方识真钢。凡铁之有钢者，如面中有筋；濯尽柔面，则面筋乃见，炼钢亦然。但取精铁锻之百余火，每锻称之，一锻一轻，至累锻而斤两不减，则纯钢也，虽百炼不耗矣。此乃铁之精纯者，其色清明，磨莹之，则黯黯然青而且黑，与常铁迥异。亦有炼之至（“四库”本作“不”，疑误）尽而全无钢者，皆系地之所产。”此“真钢”即百炼钢。“精铁”即百炼钢原料，当是含碳量稍高，含夹杂较少的炒炼产品。此“精铁”之“精”，当指可能锻炼成钢，其中不含硫等杂质。依沈括之见，“百炼”的基本操作是“锻之百余火”，这是对百炼钢工艺一个十分精辟、准确的描述。“一锻一轻”是不断地排除了夹杂，氧化铁皮不断产生并脱落了的缘故。“炼之至尽而全无钢者”，看来主要是铁中含硫较高，热加工时容易产生热脆，难以锻打成型之故。“百炼”的目的，主要是进一步排除夹杂、均匀成分、致密组织，有时还可细化晶粒，从而极大地改善了材料的机械性能[15]。

“百炼”钢工艺在宋代的其他地方也可看到，《独醒杂志》卷四说湖南瑶人有一种黄钢，系“百炼”而成；《岭外代答》卷六“蛮刀”条说到过一种峒刀，以三十炼为佳。

**三、铜的冶炼及其合金技术的发展**

我国古代冶铜，有火法和湿法两种工艺，前者发明较早，沿用时间较长，生产能力较大，是我国古代炼铜的主要方式；后者约始于五代，盛于宋，在南宋时期曾占有相当重要的地位。此期冶铜技术上值得注意的事件是：（1）火法硫化矿炼铜工艺开始有了文献记载。（2）湿法炼铜进入了大规模生产的阶段。（3）北宋张潜、张磐撰写了中国历史上第一部冶金技术的专著《浸铜要略》，可惜今已失传。南宋洪咨夔（1176～1236年）创作了《大冶赋》[16]，详细地描述了从找矿、采矿、焙烧，到冶炼的基本过程及其热烈场面，成为我国古代保留下来的最早的冶金技术专著。





（一）火法炼铜

《大冶赋》是以词赋的形式来描述铜矿采冶过程的，首先谈到了矿物的赋存形态和开采情况，接着便谈到了焙烧和冶炼。在谈到后两项时其云："徒堆阜于平陆，矗岑楼于炉步。熺炭周绕，蕘薪环附。若望而燎，若城而炬。始束緼鞴于毕方，旋鼓而熛怒。鞭火牛而奔走，骑烛龙而腾骛。战列缺霹历于焱庉（炖），舞屏翳丰隆于烟雾。阳乌夺耀，荧惑逊度。石迸髓，汋流乳，江锁融，脐膏注。銗再炼而粗者消，鈲复烹而精者聚。排烧而汕溜倾，吹拂而翻窠露。利固孔殷，力亦良苦。唯彼泉井淘沙可铸。"这便是《大冶赋》关于火法炼铜的基本内容，虽其中使用了许多典故和隐语，但所述生产过程还是基本清楚的。其中"熺炭周绕"等四句是说矿石之焙烧，故其开采的应是硫化矿。"石迸髓"以下8句则指铜之冶炼和初步提纯。

有一点需注意的是：以黄铜矿为原料，以火法冶炼所得之铜，《大冶赋》是称之为"黄铜"的。自然，这与今人所谓黄铜，即铜锌合金是不同的。《宋会要辑稿》"食货"三三等，也使用过"黄铜"一词，含义与《大冶赋》相同[17][18]。

（二）胆铜法

"胆铜"之名兴起于宋，《宋会要辑稿》"食货"三三，常将"胆铜"与"黄铜"对应使用。大约在五代至北宋前期，胆铜生产已在民间逐渐兴起。北宋绍圣元年（1094年），饶州德兴人张潜、张槃著《浸铜要略》一书，并使张甲献于朝[19]，认为浸铜乃系利国之术，官方便在信州铅山、饶州兴利等地经营并推广了这一工艺。从有关记载看，宋代胆铜法约有如下三种操作：

1. 烹炼法。沈括《梦溪笔谈》卷二五说："信州铅山县有苦泉流以为涧，挹其水熬之则成胆矾，烹胆矾则成铜，熬胆矾铁釜久之亦化为铜。"此熬胆水以成铜，应是胆铜工艺的早期形态，自然也只适用于小规模生产。

2. 浸渍法。《宋史》卷一八〇载："浸铜之法，以生铁锻成薄片，排置胆水槽中，浸渍数日，铁片为胆水所薄，上生赤煤，取刮铁煤入炉，三炼成铜。大率用铁二斤四两得铜一斤。"此"赤煤"即从胆水中置换出来的铜。"用铁二斤四两得铜一斤"是经验数字，从理论上看，大约只要0.88斤铁便可置换出一斤铜来。关于浸铜沟槽中铁片的排列方式，《宋会要辑稿》"食货"一一说"如鱼鳞状"；《大冶赋》说浸铜槽中排列着旧铁锅[16]。2002年4月，笔者曾到江西铅山（yán Shan）调查传统胆铜生产情况，其操作要点是：在地面上构筑许多浸铜槽，令胆水流经其中；槽内置铁刨花以作置换之用。

3. 淋铜法。崇宁元年（1102年）游经上言："古坑有水处为胆水，无水处为胆土，胆水浸铜，工少利多，其水有限；胆土煎铜，工多利少，其土无穷。"[20]此"胆土"是采铜矿时贫矿（硫化铜矿）经风化、氧化等作用而得到的硫化铜与矿土混合物。淋铜法应是在"煎铜"法的基础上发展过来的，后者的操作要点是把天然胆土用水煎熬而溶出硫酸铜，再用铁把铜置换出来；后来人们有意利用一些贫矿，把它堆积起来，令其风化、氧化，再淋水，便成了所谓的"淋铜"工艺[21]。《大冶赋》曾对淋铜工艺的发展过程作了较为详细的说明："其淋铜也，经始岑水，以逮永兴。"浸渍法和淋铜法大约都在北宋晚期便已使用。在欧洲，与淋铜法相类

似的工艺是到了1752年才首先在西班牙采用的。

胆铜法的优点是：(1) 可在常温下进行操作，从而节省了大量燃料和高温冶炼设备。(2) 可利用贫矿。(3) 设备简单，操作较易，成本较低。

(三) 铜合金技术

宋代铜合金技术的主要成就是黄铜工艺有了明确记载，砷白铜工艺更为娴熟；镜用青铜合金技术出现了衰退的现象，锣钹等响器合金技术发展到相当高的水平。

1. 黄铜技术

虽黄铜出现较早，但有关其工艺操作的记载却是到了五代末、北宋初才看到的。《日华子点庚法》说："百炼赤铜一斤，太原炉甘石一斤，细研，水飞过石一两，搅匀，铁合内固济阴干，用木炭八斤；风炉内自辰时下火，煅二日夜足，冷取出，再入气炉内煅，急扇三时辰，取出打开，去泥，水洗其物，颗颗如鸡冠色。母一钱点淡金一两成上等金。"[22]此"上等金"即黄铜。操作要点是把赤铜、炉甘石($ZnCO_3$)、木炭混合后密封起来烧炼。日华子姓大名明，四明人，宋开宝(968~975年)中撰有《日华子本草》传世。稍后的崔昉《外丹本草》说得更为简明："用铜二斤，炉甘石一斤，炼之即成鍮石一斤半。"崔昉系方士，号文真子，宋仁宗(1023~1063年)时曾在湖南为官。此"用铜二斤"，疑为"用铜一斤"之误。

关于宋代黄铜生产和使用的一般情况，许多文献都有记载。《宋史》卷一八〇载：崇宁二年"太严私铸之令，民间所用鍮石器物，并官造鬻之，辄铸者依私有法加二等"。《宋会要辑稿》"食货"三四、洪迈《容斋三笔》卷一一都说到过生产鍮石之事。这都说明宋代黄铜生产和使用量已经不少。

两宋黄铜实物在考古发掘中看到的较少，笔者分析过一件鄂城五代至宋的素面镜，成分为：铜65.9%、锡3.4%、铅4.3%、锌26.66%；一件北京金代的带柄龟裂纹镜，成分为：铜59.822%、锡1.785%、铅3.352%、锌33.717%[23]。皆为复杂黄铜，含锌量都不低。

此时，人们对黄铜的本质已有了较为明确的认识。程大昌《演繁露》卷七"黄银"条载："世有鍮石者，质实为铜，而色如黄金，特差淡耳。""鍮，金属也，而附石为字者，为其不皆天然自生，亦有用炉甘石煮炼而成者，故兼举两物而合为之名也。《说文》无'鍮'字，《玉篇》、《唐韵》、《集韵》遂皆有之，岂前乎汉者未知以石煮铜，故其名不附石也耶。谚言：'真鍮不博金。'甚言其可贵也。夫天然自生者既名真鍮，则炉甘石所煮者决为假鍮矣。"可见，程大昌认为，真鍮和假鍮都是一种金属，虽附石为字，质实为铜。其主要区别，真鍮系天然自生者，假鍮则是炉甘石所煮者。今有学者说古人把黄铁矿等当成了黄铜，其实并非如此。

2. 砷白铜技术

宋代砷白铜技术较唐代更为进步，且已有了一套较为成熟的工艺。北宋末年人何薳《春渚纪闻》卷一〇"丹阳化铜"条载：兰陵人薛驼，"尝受异人(炼丹家)煅砒粉(砒霜)法，是名丹阳者。余尝从惟湛师访之，因请其药。取帖药抄二钱匕相语曰：'此我一月养道食料也，此可化铜二两为烂银。若就市货之，煅工皆知我银，可再入铜二钱，比常直每两必加二百付我也。'其药正白而加光璨，取



枣肉为圆，俟熔铜汁成，即投药甘锅中，须叟，铜汁恶类如铁屎者，胶着锅面，以消（硝，芒硝）搅之，倾槽中，真是烂银，虽经百火，柔软不变也。此余所躬亲试而不诬者。”此“烂银”即砷白铜，基本工艺是：将砒霜用枣肉制成圆球，投入铜液中，以芒硝搅之即可。“取枣肉为圆”的目的，是为减少砷的挥发；枣肉炭化后，可起到还原剂的作用。“硝”是造渣剂，使各种氧化夹杂较好地与铜液分离。这是一套比较成熟、合理的工艺。既然“煅工皆知我银”，可见其已非稀罕之物，生产量当也是不会太少了的。

3．响器合金技术

此期响器合金技术又有了一定发展，主要表现是含锡量稍有提高，且成分更为稳定。我分析过宋代的2件铜钹（江西和徐州雪山寺出土）、1件铜锣和1件铜磬（皆雪山寺出土），4件标本成分为：铜79.12%～81.26%，平均80.134%；锡16.87%～18.74%，平均17.873%；铅0～0.81%，平均0.323%[24]。吴坤仪分析过1件熙宁十年钟，成分为：铜80.135%；锡16.5%；铅0.16%[25]。可知它们都是清一色的锡青铜，且含锡量较高，成分波动很小。其中的铅可视为夹杂。这种成分与现代技术原理是基本相符的。这进一步表明，古人对铅、锡，及其对铜合金性能的影响已有较深的认识。

4．宋代钱币含铅量明显提高

20世纪20年代前后，国内外学者便开始对我国古代钱币进行了许多分析。20世纪70年代以来，对北宋铜钱分析量较大的主要有3宗：一为1973年日本学者水上正胜分析了119枚[26]；二为1985年戴志强等分析了62枚[27]；三为赵匡华等分析了192枚[28]；3宗计373枚，为我们了解北宋钱币合金情况提供了许多宝贵的资料。由此可知：

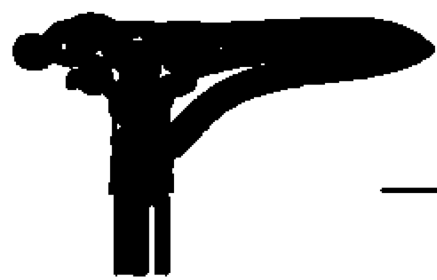
（1）其含铅量较高，其中含铅量处于20%～30%的达290枚，占试样总数的77.7%；最高含铅量达46.7%。且由汉到唐，到宋，我国钱币含铅量是不断升高的。由前可知，73%的汉钱含铅量为0～8%；68%的唐钱含铅量为10%～25%。

（2）含锡量不高，为5%～11%的达326枚，占试样总数的87.4%；为8%～11%间的达203枚，占试样总数的54.4%。每批试样的锡分布大体上都遵守了这一规律，说明北宋铜钱的含锡量也较稳定。

宋代钱币含铅量提高，一方面大约与技术要求和成本有关，但可能还有一个原因，即与边事有关；因铅青铜的机械强度较低，不宜制作兵刃之器。

5．关于镜用青铜合金的演变

由战国到唐代，镜铜合金都是高锡低铅的。五代之后部分镜子含铅量逐渐升高，南宋时期便大量地使用起锡铅青铜来[23]。笔者统计过25件宋金铜镜合金成分[23][29][30]，约包括5种合金类型：（1）高锡型，计5件标本，含锡18.987%～27.43%，平均23.193%。（2）黄铜型，计2件。（3）高铜型，计5件，含铜81.674%～87.245%，平均84.103%。（4）低锡低铅型，1件，铅、锡量皆在11%～13%间，含铜量低于75%。（5）高铅型，计12件，占标本总数的48%；含铅16.465%～29.181%，平均22.03%。显然，在这5种合金中，第一种是沿用战国汉唐的，其余4种则是宋后独创的，其中最具代表性的是高铅型。高锡青铜镜的





优点是映像清晰、易于研磨、艺术效果极佳。缺点是：（1）其性硬脆，易于摔破。铜镜淬火技术，以及宋、金时期的高铅青铜镜，都是人们为克服硬脆性而作的努力。（2）易于产生组织疏松，而且很难在镜面上避开，从而影响映照效果。高铅型合金的优点是：（1）塑性较好，不易摔破，便于携带，便于制作。（2）组织疏松的倾向较锡青铜为低。（3）经表面处理后，也可获得较好的映照效果。高铅型合金的这3个优点，尤其是第2个，很可能是宋、金时期铜镜合金成分变化的重要原因。这种合金的缺点是：耐蚀能力较差、机械强度较低、艺术效果欠佳。

在此值得注意的是，虽宋镜配锡量大为减少，用铅量急剧上升，但人们依然是十分强调铸镜用锡的，而且这种认识一直延续到了明、清。宋马志云："凡铸镜皆用锡。"[31]明宋应星《天工开物》第八"冶铸·镜"条载："凡铸镜，模用灰沙，铜用锡和。"这里依然强调铸镜配锡，而未提到铅。

对于铸镜用锡的技术效果，古人谈了两方面：（1）致白。宋马志《开宝本草》云：铸镜不用锡，"即不明白"耳[31]。清郑复光《镜镜詅痴》卷一"镜资"条："铜色本黄，杂锡则青，青近白，故宜于镜。"（2）致坚，且易研磨。《吕氏春秋·似顺论》："金柔锡柔，合两柔则为刚。"唐代孟郊《结交》诗："铸镜需青铜，青铜易磨拭……凡铜不可照，小人多是非。"这两点认识与现代技术原理皆基本相符。此外，锡青铜铸镜还有一个优点，这在前面曾经提到，即其线收缩较小，不易形成集中性缩孔，宜于铸造各种断面形状变化较大的艺术品，故又有"艺术青铜"之称。

**四、金、银、汞的冶炼技术**

（一）黄金提纯技术

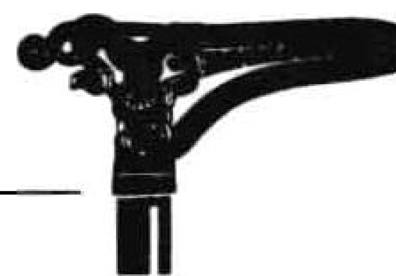
宋代的黄金开采技术有了较大发展，溜槽淘金技术、原生脉金开采技术，都有了较为明确的记载，这在前面都已谈到。另外，关于汞炼金法的记载亦更为明确，说明黄金提纯又有了进一步发展。

《老学庵笔记》卷九载："宣和（1119～1125年）末，又以方士刘知常所炼金轮颁之天下……知常言其法：以汞炼之成金，可镇分野、兵饥之灾。"此"以汞炼之成金"显然是混汞法。清严如熤《三省边防要览》卷九也谈到过汞炼金法。

（二）白银采冶技术

在自然界中，虽金、银、铜、铁、汞都存在单质自然金属，但其数量却是各不相同的，大约金、铜、汞稍多，铁和银的则很少。从历史上看，人类使用的银多以硫化物的形式，伴生于铜、铅、锌等矿中。我国古代白银采冶技术发明较早，有关记载断断续续，或隐或现，宋代之后才逐渐明确起来。

宋赵彦卫《云麓漫钞》卷二载，银矿采来后，须先"用臼捣碎，再上磨，以绢罗细，然后以水淘，黄者即石，黑者乃银"。之后，"用面糊团入铅，以火煅为大片，即入官库。俟三两日再煎成碎银，每五十三两为一包。与坑户三七分之，官取三分，坑户得七分。铅从官卖……它日又炼，每五十两为一锭，三两作火耗……大抵六次过手，坑户谓之过池、过水池、铅池、灰池之类是也"。这里谈到了炼银的基本过程，先制"铅陀"，即含银的铅块；二三日后再去铅炼成碎银。它日再炼，用铅炼银法，大抵要"吹"六次。这是一段难得的资料。此书之序作于开禧二年（1206年）。



《本草纲目》卷八“金石·银”条引宋苏颂《图经本草》云:“银在矿中与铜相杂，古人采得，以铅再三煎炼方成，故为熟银。”这里谈到了银的主要赋存形式是“与铜相杂”，冶炼时，须“以铅再三煎炼”，意即先炼成银铅合金，后再用“铅炼银法”（灰吹法）炼银。

（三）炼汞技术的发展

我国古代最早的人工炼汞法应是“低温焙烧法”，之后发明了蒸煮法；唐代又出现了蒸馏法[32]。宋代炼汞技术的主要成就是：蒸煮法有了发展，出现了“石榴罐式”、上下釜式等操作；蒸馏法也有了较大提高；关于自然汞的记载更为具体明确。

南宋方士白玉蟾《金华冲碧丹经秘旨》（成书于1225年）载[33]:“石榴罐中盛辰砂十两，赤金（红铜）珠子八两，磁瓦碎片塞口，倒扑石榴罐在甘(坩)埚上，埚内华池水二分。”这便是石榴罐式。基本操作是：将辰砂和红铜（还原剂）盛于石榴罐内，罐口用碎瓷片堵塞，后将罐倒扣在坩埚上。坩埚埋于地内。石榴罐与坩埚间用六一泥固济。从上方加热石榴罐底，水银被还原出来，并滴入坩埚下面的华池水底。因这种操作是“火在上，水在下”的，在六十四卦中，“上离（火）下坎（水）”为未济卦，故宋人又谓之“未济式”。图6-2-2为南宋《丹房须知》所载未济炉。上边的圆筒形器为药鼎，其外有火围烧；下部是盛水的鼎，其外围大约是灰土之类；水鼎有一导管贯通，是供给冷水和引出蒸气的管子[34]。

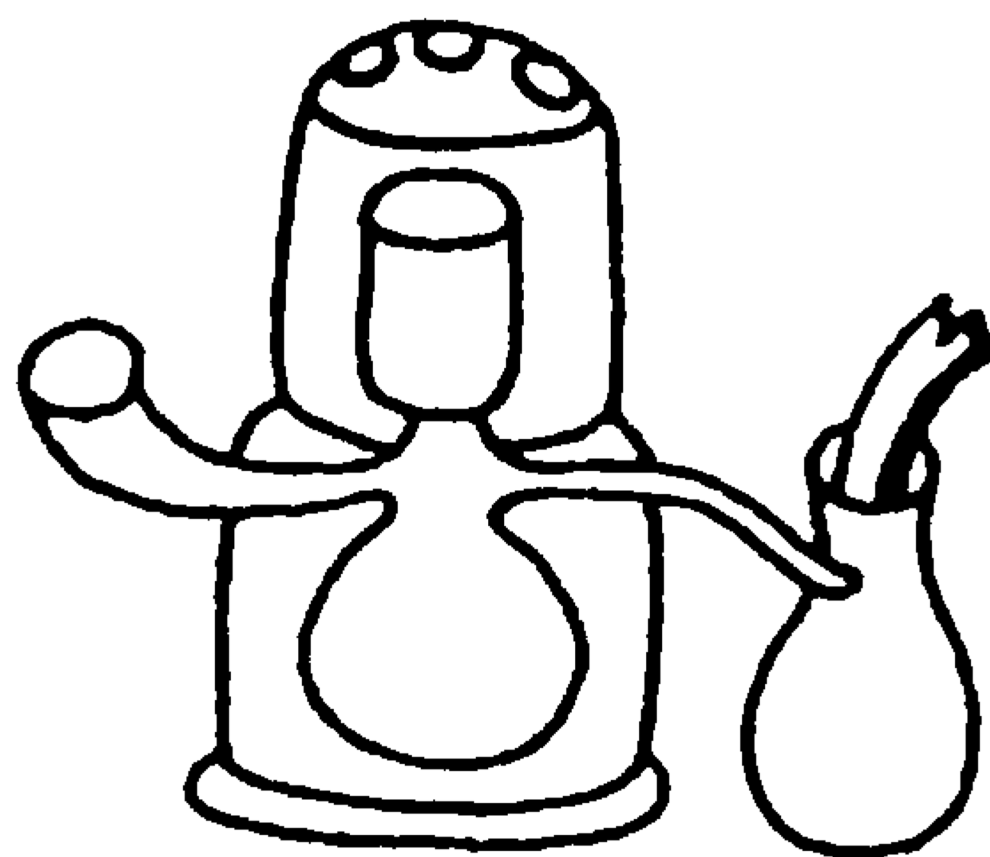


图6-2-2　《丹房须知》所载未济炉（上火下水）

宋周去非《岭外代答》卷六“炼水银”条也谈到过类似的操作，其云:“邕人炼丹砂为水银，以铁为上下釜，上釜盛砂，隔以细眼铁板；下釜盛水，埋诸地，合二釜之口于地面，而封固之。灼以炽火，丹砂得火化为霏雾，得水配合，转而下坠，遂成水银，然则水银即丹砂也。”这种“上下釜式”与上述“石榴罐式”、唐代的“竹筒式”、汉代的“阳城罐式”，操作原理基本上是一致的，皆属蒸煮法范围。这种工艺一直沿用到了元末明初[32]。缺点是只宜于小规模生产。

蒸馏法炼汞在唐代已露端倪，宋代便逐渐推广开来，宋人吴悮所撰《丹房须知》载有一幅原题作“抽汞之图”者，有燃烧室、蒸煮室和冷凝室，与后世农村的蒸馏装置基本一致，曹元宇说它已是相当“完美的蒸馏器”[34]（图6-2-3）。该书的篇首有作者于南宋孝宗隆兴癸未年（1163年）自序，是成于南宋早期。虽未见其文

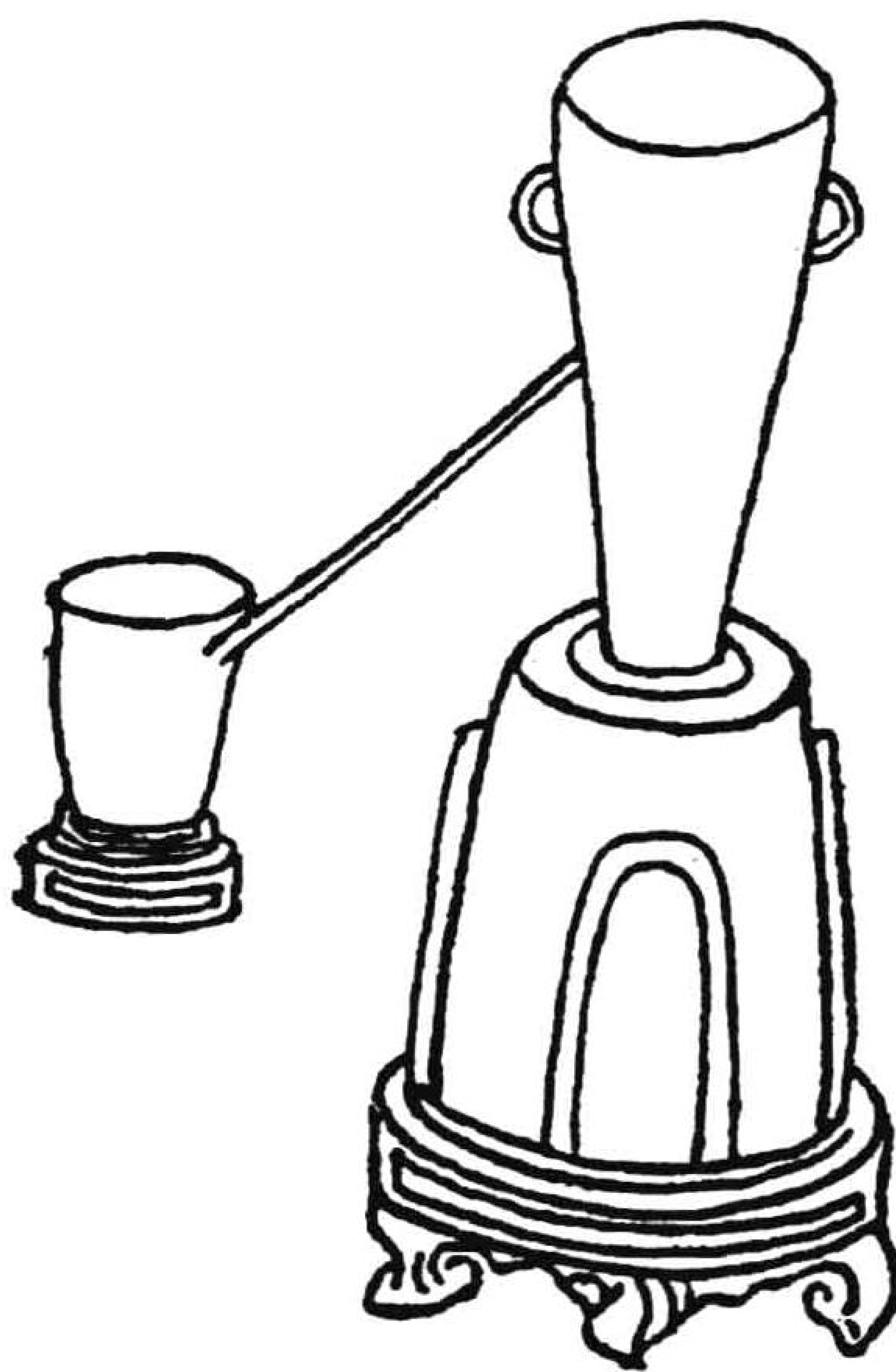


图6-2-3　《丹房须知》所载蒸馏法炼汞图

字说明，但图示已经十分清楚。

我国古代关于自然汞的记载始见于南朝梁陶弘景《名医别录》[35]，其将自然汞称之为“生水银”，丹砂烧出者称为“熟水银”。《岭外代答》卷七“炼水银条”也谈到过自然汞，说:“邕州右江溪峒，归德州大秀墟，有一丹穴，真汞出焉，穴中有一石壁，人先凿窍，方二三寸许，以一药涂之，有顷，真汞自然滴出，每取不过半两许”。此“真汞”即自然汞。稍后的清代文献也有类似的记载。

**五、铸造技术的发展**

我国古代几项主要的传统铸造技术，即泥型铸造、出蜡铸造、金型铸造，宋代都在使用，且有不同程度的发展。此期铸造技术上最值得注意的事项是：砂型铸造已较多地运用于生产，出蜡法有了较为详明的记载，铸件质量有了不少提高。

（一）砂型铸造

我国古代砂型铸造发明于何时，学术界依然存在不同看法。1959 年，有人提出它发明于唐，说“到了唐初，铸钱已完全用‘母钱’和‘翻砂法’，不但不用‘铜铸母范’，并且不用土印子范”。还说此“母钱”有铜质和锡质等种[36]。此论或有一定道理，但可惜缺少实物和文献上的有力依据。1994 年，又有人将它推到了南北朝时期，依据是南朝刘宋的部分钱币上存在一种名之为“定位星”的铸造痕迹，说这“是我国早期砂模铸造的重要标志”[37]；1995 年，其又将之推到了新莽时期，理由是新莽钱币上存在一种“郭浇柄现象”，认为这种现象“只能产生在砂型铸造中”[38]。此说当有一定道理，但最好能找到更多的证据。现在学术界普遍接受的一种说法是：翻砂法铸造至迟发明于北宋时期，南宋之后便较多地使用开来。

《宋会要辑稿》“刑法”四载，大观元年，“池州言，勘会永丰监除见管兵匠，及外州差来兵士六百九十五人外，见缺六十四人，敕翻铸御笔大观通宝小平钱，字精细，系背赤仄”。此“翻”，当即翻覆、反覆、来回变换之意；“翻铸”，前此很少看到这样的技术用语，一般认为当指翻砂铸造。经查，池州永丰监，设监于至道二年（996 年），属北宋早期。

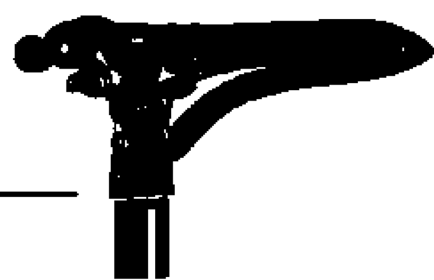
《金石萃编》卷一四“韶州新置永通监”条，载有“模沙、冶金、分作有八。刀错水莹，离局为二”等文。此“模沙”说得十分明白，当指铸钱工艺中的翻砂。从《续资治通鉴长编》卷一六五可知，韶州永通监设立于庆历八年（1048 年），属北宋中期。

这两条资料若分割开来看，那还是较为单薄的；结合起来时，问题就较为明白了。所以我们认为，说北宋中期或稍早已有翻砂铸造当属可信。

南宋时期，翻砂铸造更加广泛地使用起来。宋张世南《游宦纪闻》卷二谈到铸钱时说:“其用工之序有三：曰沙模作，次曰磨钱作，末曰排整作。”此“作”即工作、作业、工种、工序；“沙模”即沙型。记载虽然简单，其意却十分明了。

（二）出蜡铸造

此期出蜡铸造上值得注意的事项是：有关工艺操作的记载较为详明。宋赵希鹄《洞天请禄集·古钟鼎彝器辨》载:“古者铸器，必先用蜡为模如此器样，又加款识刻画。然后以小桶加大而略宽，入模于桶中；其桶底之缝，微令有丝线漏处。以澄泥和水如薄糜，日一浇之；候干再浇。必令周足遮护讫。解桶缚，去桶板，



急以细黄土，多用盐并纸筋固济于元澄泥之外，更加黄土二寸留窍中，以铜汁泻入。”这里谈到了出蜡法铸造的基本操作过程：（1）雕塑蜡模，其各部形态皆与所需器物应完全一致。（2）在蜡模外挂泥，先挂细泥，后用盐泥、纸筋加固。（3）出蜡，浇铸。这是我国古代关于出蜡法具体操作的最早记载。此外，宋代著作《宣和博古图》在谈到周召公尊时也提到过出蜡法，说：“尊有五指纹……今此指痕以蜡为模，以指接蜡所成也”。

（三）金型铸造

我国古代的金型铸造约发明于春秋时期，战国汉魏时代便得到了较为充分的发展，隋唐使用稍少；两宋时期，中原地区亦不常见，但颇受辽金重视。1972 年，辽宁北镇发现辽代铜犁范一件，范作菱形，重 13.75 千克，通长 41.5 厘米。浇口呈漏斗状，上口 6 厘米×6 厘米，下口 2.5 厘米×2.5 厘米；范上有合范销栓[39]。1978 年吉林前郭县出土金代犁铧铜范 1 件，范为二合，出土时上下范叠在一起；1966 年，该县还出土过一件铜质犁铧上范，质地和造型皆与前范相同。这些犁铧范与吉林市江南金代窖藏铁犁铧，以及辽宁新民县金元遗址出土的铁犁铧形制相同[40]。1979 年河北隆化发现辽末金初铜铧范 1 件，范的前端平直；县内八达营出土的铁犁铧与之形制相同[41]。

随着操作技术之提高，宋代铸件质量亦有了改善。许多薄壁小件皆精巧玲珑；如部分钱币，形制精美，文笔工整，颇受国内外收藏家所爱；部分日用器也比较讲究，周去非《岭外代答》卷六“梧州铁器”条说：“梧州生铁，在熔则如流水，然以之铸器，则薄几类纸，无穿破，凡器既轻且耐久”。铁器几薄如纸而不穿破，工艺水平自然不低。许多大型铸件皆宏大厚重，表现了相当高的技艺。宋李心传《建炎以来朝野杂记》卷四“景钟”条载：“景钟，绍兴十六年（1146 年）秋七月铸，钟高九尺，天子亲祠上帝。”若依宋代 1 尺合今 0.313 米计，则此钟高达 2.817 米，这也是不小了的。此外还有不少大型铸件完好地保留至今。如河北正定隆兴寺，原建于隋开皇六年（586 年），毁于后周显德年间，北宋开宝四年重铸佛像；其佛为千手千眼观音，高达 22 米，分 7 层铸成。湖北当阳铁塔，原建于北宋嘉祐六年（1061 年），计 13 级，今实测高度达 17.9 米。《焦氏类林》卷六引《漫志》云：“宋河中府浮桥，用铁牛八维之，一牛且数万觔。”

**六、金属加工和热处理技术**

此期的金属加工和热处理技术在许多方面都取得了较大成就，尤其是热锻、冷锻、铜铁拉拔和黄铜淬火等方面。

（一）热锻

宋代金属热锻技术，在钢铁和青铜两方面都有较高成就，前者主要表现在百炼钢和刀剑技术上，后者主要表现在锣钹上。今主要介绍一下刀剑技术和锣钹加工。

1. 刀剑技术。我国古代钢铁刀剑始兴于春秋战国时期，汉魏六朝便十分繁盛起来，在原料选择、锻打、刃部嵌钢、热处理技术等方面，都已达到相当高的水平。我国古代钢铁刀剑有三绝：即犀利非常、舒曲自如、带有多种自然花纹[42]，宋代钢铁刀剑在这三方面都达到了较高的水平。

沈括《梦溪笔谈》卷一九载：“古剑有湛卢、鱼肠之名。湛卢，谓其湛湛然黑

色也。古人或以剂钢为刃，柔铁为茎干，不尔则多断折。剑之钢者，刃多毁缺，巨阙是也；故不可纯用剂钢。鱼肠即今蟠钢剑也，又谓之松文；取诸鱼燔熟，褫去胁，视见其肠，正如今之蟠钢剑文也。”

这里谈到了两个问题：

（1）花纹钢，或说“蟠钢剑”技术，这种花纹是呈现于器物表面的盘曲状自然花纹。与魏晋花纹钢刀剑，唐慧林《一切经音义》所云镔铁，20世纪30年代北京折花剑，其工艺原理都是一样的。

（2）刃部嵌钢的复合材料技术。沈括说古代刀剑都以剂钢为刃，以柔铁为茎干。此“剂钢”应即含碳量较高，夹杂较少的钢。剂，调剂。据分析，江阴北宋葛闳夫妇墓出土一把钢剑便使用了夹钢工艺[43]。

《梦溪笔谈》卷二一载：“钱塘有闻人绍者，常宝一剑，以十大钉陷柱中，挥剑一削，十钉皆截，隐如秤衡，而剑鑯无纤迹，用力屈之如钩，纵之铿然有声，复直如弦。关中种谔亦畜一剑，可以屈置盒中，纵之复直。张景阳《七命》论剑曰：‘若其灵宝，则舒屈无方。’盖自古有此一类，非常铁能为也。”

这里主要谈到了刀剑的两项性能：

（1）犀利非常，十大钉陷柱中，挥剑一削皆截。

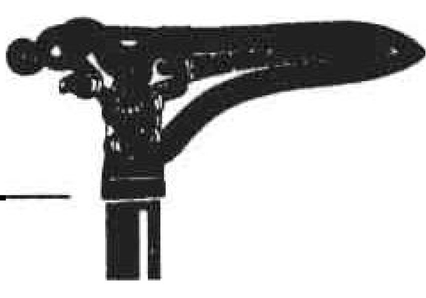
（2）弹性较好，或可屈之如钩，或可屈置盒中，纵之复直。

曾敏行《独醒杂志》卷四载：湘地瑶人有一种黄钢刀，做法是：“举子，姻族来劳视者，各持铁投其家水中。逮子长，授室，大具牛酒，会其所尝往来者，出铁百炼，尽其铁以取精钢”。“刀成，铦利绝世，一挥能断牛腰”。“予尝访之老冶，谓之到钢，言精炼之所到也”。这里谈到了宝刀的原料、百炼工艺及其铦利性能。尤其突出了精炼的必要性。

宋周密《云烟过眼录》卷一还谈到过一种具有银白色花纹的钢刀，云：“蓖刀一，其铁皆细花文，云此乃用银片细剪，又以铁片细剪如丝发，然后团打万槌，20成自然之花。其靶如合色乌木，乃西域鸡舌香木也。此乃金水总管所造刀也，上用渗金镌错造五字。斌铁自有细文如雪花，以银和铁团打，恐非也”。这种“银白色”花纹钢的存在当属可信。至于说其“乃用银片细剪”，“然后团打万槌”，则不过是世人的一种误传。一般情况下，要将金属银与钢铁锻合为一，那是十分困难的，周密也不太相信。

我国古代钢铁刀剑具有多种优良性能，其影响因素是多方面的，其中最为重要的有四：（1）原料选择较好。（2）锻炼精到。（3）刃部嵌钢的复合材料技术使用得好。（4）热处理技术掌握得好[42]。蟠钢剑、钱塘闻人剑、关中种谔剑、湘地黄钢刀，都反映了宋代刀剑技术的发展水平。

2. 锣钹磬。宋金时期，锣钹技术有了进一步发展，有关实物南北都有出土。1977年，浙江嘉兴出土南宋铜锣1件，直径50厘米，上刻“嘉兴府咸淳四年（1268）”等字样[44]。1971年，江浦黄悦岭南宋张同之夫妇墓出土小铜钹一副，直径8.5厘米[45]。1978年大连金代窑藏出土铜锣2件，直径分别为14.5厘米、19.2厘米；铜钹2副，直径分别为22.2厘米、29.4厘米[46]。1984年徐州铜山县茅村雪山寺遗址发现一北宋窖藏，出土有铜钹、铜锣、铜磬、铜铙、石幢等物。其中





有铜钹 2 副（发掘号分别为 DH:1、DH:2），钹 DH:1 两片的直径皆 28.5 厘米，钹 DH:2 两片直径分别为 27.2 厘米、27.5 厘米；有铜锣 1 件，直径 21 厘米；磬 1 件，口径 31 厘米[47]。我们曾对江西出土的宋代铜钹 G2 和徐州宋代铜锣茅 DH:4、铜钹茅 DH:2 乙片、铜磬茅 DH:5 进行过科学分析①，知其皆为高锡青铜，含铅量低于 1%，含锡量介于 16.87% ~18.74% 间；皆热锻而成，钹 G2、茅 DH:2、磬茅 DH:5 曾经淬火态，今见组织为淬火态；锣茅 DH:4 可能是停锻温度稍高，或锻造后又在低温下进行过不太完全的退火处理，今见组织为退火态（图 6-2-4）。淬火常在冷加工前进行，它一方面可改善它的冷加工性能，另一方面亦可改善响器音质。对铜磬的情况以往我们关注较少，看来其加工和热处理技术与锣钹大体上是一样的。此外，我们分析过的 4 件宋代响器表面都见有清晰的加工道纹，这显然是某种机械加工所致的（图 6-2-5、彩版柒，3、4）[24]。类似的螺旋纹往昔在南阳卧龙乡汉代青铜舟 YN1 上也曾看到，说明这种工艺在我国已有相当的发展历程。

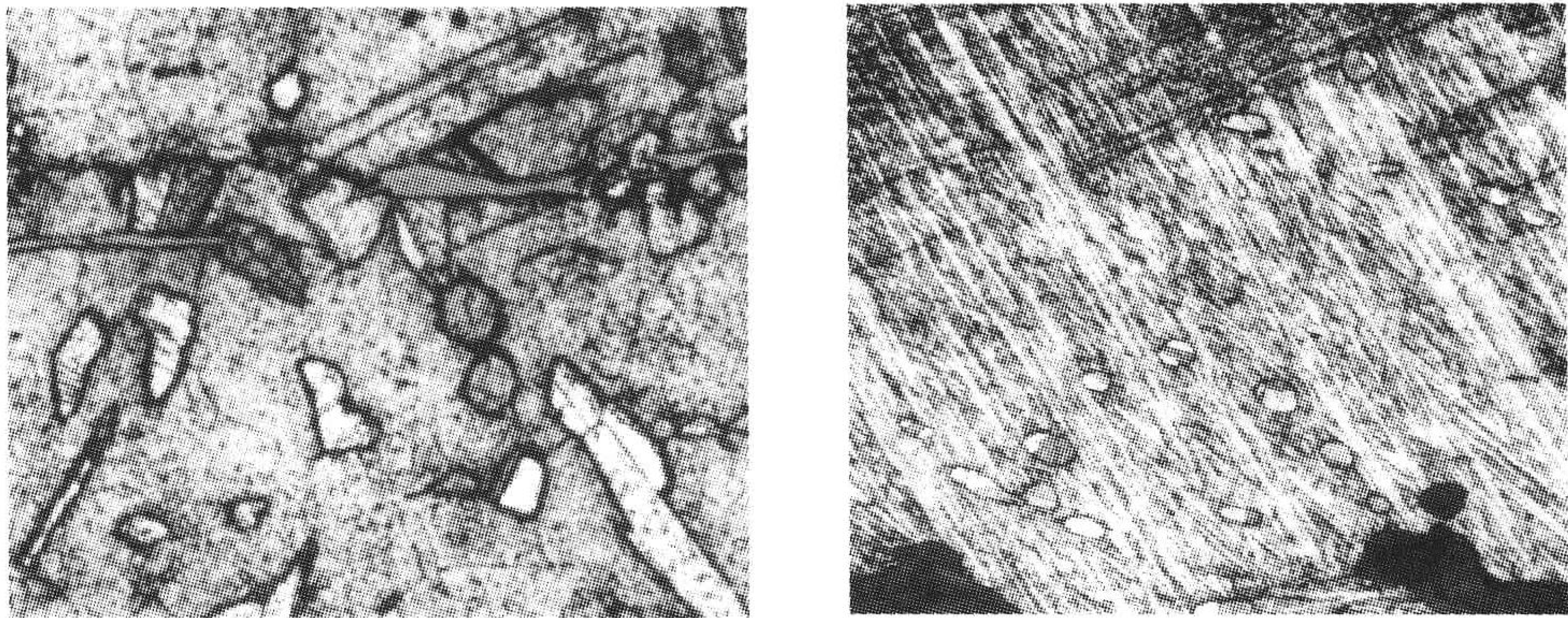


**图 6-2-4　宋代锣钹的热加工组织**

左：徐州铜锣茅 DH:4 热锻退火组织　×500　　右：江西铜钹 G2 热锻淬火组织　×200

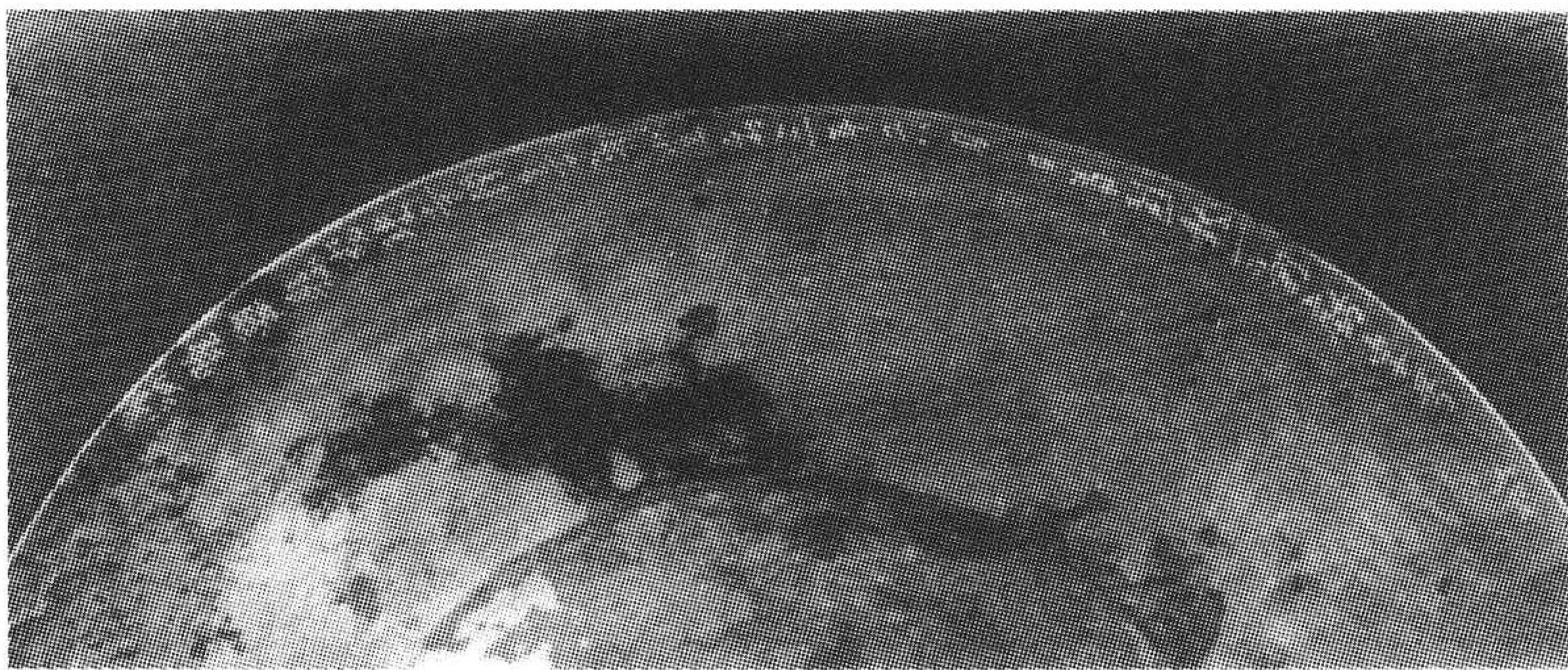


**图 6-2-5　雪山寺宋代铜钹茅 DH:2 乙片正面的加工道纹**

照片承徐州博物馆李银德提供

① 江西铜钹标本 G2 为 1987 年承李恒贤提供。徐州锣、钹、磬标本为 1992 年承李银德提供，发掘报告见文献[47]。

（二）冷锻

宋代冷锻技术获得了出色的成就，主要表现在瘊子甲锻造和人们对加工硬化的认识上。

我国古代铁甲技术约发明于战国时期[48]，汉代有了进一步提高，从河北满城和内蒙二十家子汉代铁甲金相分析情况看，早期铁甲大凡多是热锻而成[49]，冷锻铁甲是到了宋代才见于记载的。沈括《梦溪笔谈》卷一九载："青堂羌（在今青海西宁附近）善锻甲，铁色青黑，莹沏可鉴毛发。以麝皮为綇旅之，柔薄而韧……去之五十步，强弩射之不能入……凡锻甲之法，其始甚厚，不用火，冷锻之，比元厚三分减二乃成。其末留筋头许不锻，隐然如瘊子。"这里谈到了冷锻瘊子甲的基本操作过程，与现代技术原理是完全相符的。现代材料学研究表明，冷加工量小于60%～70%时，材料强度随变形量的增加而提高；当变形量大于此数后，硬度增加不多，材料却急剧变脆，使强度降低；所以此"三分减二"乃是获得高硬度、高强度的最佳变形量。这是我国古代少数民族在金属加工技术上的一项重要成就。冷锻的优点是：（1）因加工硬化，产品比热锻时具有更高的硬度。（2）因避免了热锻时的高温氧化，器表显得晶莹光滑。除《梦溪笔谈》外，李焘（1115～1184年）《续资治通鉴长编》卷一三二、岳珂（1183～1234年）《愧郯录》卷一三等都有记载。后者说："甲不经火，冷砧则劲可御矢，谓之冷端（锻）。"并说"此甲在祖宗朝已有之"。说明不但边境少数民族，而且中原地区也较早就使用了这一工艺，其时间未必较边境为晚。

（三）车削技术

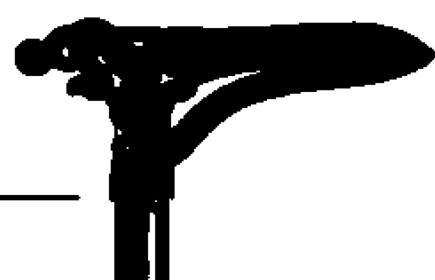
简单的金属车削技术我国发明较早，前云汉、唐考古实物中都可看到；宋代亦有使用，最明显的例子是铜钹车削加工。如前所云，1984年徐州铜山县茅村雪山寺窖藏出土几件铜锣、铜磬、铜钹，其上都留有清晰的车削加工的旋螺纹[47]。它们皆热锻成型，并非是铸制；显然，其中的旋螺状加工纹是成型过程中形成的，而不是铸造所致。徐州铜钹茅DH:2合金成分为：铜79.89%、锡17.92%、铅0.12%。至于宋代之车削加工较汉、唐有何进步，则是不得而知。

（四）铜铁拉拔技术

我国古代金属拉拔技术至迟发明于西汉时期，当时主要用在金丝加工上[50]。铜铁因刚性较大，其拉拔工艺很可能是到了宋代才发明出来的。这有两条资料为证：（1）中国国家博物馆收藏有宋代济南刘家功夫针铺的广告印版，此版上部刻有"济南刘家功夫针铺"8字，下部刻有"收买上等钢条，造功夫细针"等字。此"功夫细针"以铜版印制广告，说明其生产规模是较大的，人们推测，它很可能采用了拉拔成型的工艺。（2）据《宋会要辑稿》"职官"二九之一载，少府监所辖文思院领有42"作"，其中有"打作"、"镀金作"、"钉子作"等，最值得注意的是还有一个"拔条作"。此谓"拔条"而不叫"拔丝"，当非金银之属，而很可能是铜铁，假若这判断无误的话，宋代发明了铜铁拉拔工艺便是肯定的。

（五）钢的淬火技术

宋代在这方面的主要成就是淬火剂的使用，其中包括油和水的选择上都积累了更为丰富的经验。苏东坡《物类相感志》载："香油蘸刀则不脆。"[51]此香油为植



物油，与南北朝所述动物油的技术原理是基本一致的。《岭外代答》卷六“蛮刀”条云:“今世所谓吹毛透风，乃大理刀之类，盖大理国有丽水，故能制良刀云。”可见在古人看来，大理刀能吹毛透风，主要是丽水淬火性能较好之故。

（六）黄铜淬火技术

苏轼《物类相感志·器用》云:“鍮石铜先烧赤，取出令冷，以水淬之，槌打则不爆。”此“鍮石铜”即黄铜。淬火的目的是把塑性较好的高温相保留下来。可见早在宋代，人们便对黄铜的淬火性能已有了一定认识。这是我国古代关于黄铜淬火的最早记载。

（七）铸铁可锻化退火技术

由于炒钢技术的发展，铸铁可锻化处理逐渐衰退，但金、元时期依然可以看到。

1985 年，吴家瑞等分析过 8 件黑龙江省所出金代铁器，其中包括：镞 5 件、匕首 2 件、矛 1 件，皆进行过脱碳退火。多数标本的金属基体基本上都是“铁素体+珠光体”；珠光体量一般较少，多呈粒状；边缘完全脱碳。绥滨县 2 件铁镞脱碳退火进行得不太完全，边缘有较多的珠光体和少量铁素体，中心残留有明显的树枝状晶和莱氏体组织，属夹生可锻铸铁。肇源县 1 件铁镞的金属基体为“铁素体+分散的珠光体”，边缘脱碳，但基体上见有少量石墨。宾县 1 件铁矛曾经锻打，金属基体为“铁素体+珠光体”，组织均匀，夹杂物带有方向性；边缘脱碳成纯铁素体[52]。

此外，宋代文献关于青铜淬火的记载亦更为明确，这在唐代部分已经提到。

## 第三节　南北制瓷技术的普遍提高和六大窑系的出现

两宋时期，制瓷技术在南方和北方都更为普遍地发展起来，假若说隋唐五代制瓷技术的基本特征是“南青北白”，北方青瓷仍不及南方的话，那么，两宋制瓷技术的基本特征便是：在我国南北出现了众多不同风格的窑系，青瓷在全国范围出现了兴旺发达的局面。

据统计，截至 1990 年为止，我国已发现古代窑址 2270 处，窑炉 6090 座，其中唐宋时期的便占去 52%[1]；20 世纪 80 年代初，全国已有 170 个县发现了古代窑址，其中有 75% 是属于宋代的[2]；可见宋代瓷业之发达。

从考古资料看，宋代较为重要的窑系主要有六个，即北方的定窑系、耀州窑系、钧窑系、磁州窑系，南方的龙泉青瓷窑系、景德镇青白瓷窑系①。

定窑约始烧于唐代早期，极盛于北宋及金，衰于元，主要烧造白瓷。耀州窑始烧于唐，窑址以今铜川市黄堡镇为代表，北宋中晚期达极盛段，以青瓷为主，

① 本书说的“六大窑系”，是以考古资料为主的，与文献记载稍有不同。文献记载的“六大窑系”是柴、汝、官、哥、钧、定，其始见于明吕震《宣德鼎彝谱》卷一。但其中的柴窑，明人已无法说清。《事物绀珠》卷二二“古窑器类”:“柴窑，窑同，制精，色异，为诸窑之冠。或云柴世宗时始进御，今不可得。”又说:“秘色窑，越州烧进，御用，臣庶不得用，故云秘色，唐世已然。或云即柴窑。”今人对柴窑更无从了解，故往往又有人说宋为五大窑系。

金元仍在烧造。铜川在宋代属耀州。钧窑约始烧于唐，兴于北宋，窑址在今河南禹县，古属钧州，元后渐衰；主要烧造青瓷。磁州窑约始烧于隋唐时期，窑址在今河南观台镇和彭城镇地区，明代之后渐衰；其宋时以白瓷、黑瓷、白地釉下黑彩为主。龙泉窑约始烧于五代，兴起于北宋，清代仍在烧造。景德镇瓷器约始于唐五代时期①。除此六大窑系外，宋代比较重要的还有赤峰缸瓦窑、福建建窑、江西南丰窑、广西滕县中和窑、永福窑、四川彭县瓷峰窑、重庆涂山窑、湖北湖泗窑、湖南衡山窑等。它们在成型、釉色、装饰，以及各项操作工艺上，都各有特色。其中有的窑系规模亦较大，各种窑炉遗址、窑具、各种釉色的瓷片都发现较多。如重庆涂山窑，约始于北宋，衰于宋末元初，分布于重庆市长江南岸的涂山区，连绵约 10 公里，其中较大的小湾窑址，面积约 4000 平方米，窑址杂物堆积厚约 4～6 米；发现有作坊遗址、淘洗池、马蹄形半倒窑、匣钵、火照等；以黑釉、黑褐釉为主[3]。赤峰缸瓦窑，据 1995 年调查，窑址连绵长 2.5 公里，陶瓷堆积达 3 米，已清理窑炉 5 座，作坊遗址 1 处，灰坑 20 处；出土物中较为引人注意的有“官”字铭匣钵残器，“新官”铭垫柱残器等；其经历了辽、金、元三代[4][5]。湖北湖泗窑，今在梁子湖、张桥湖一带 100 余座山丘上发现有大量瓷片和窑具，并发掘了两座北宋龙窑，清理出瓷器、窑具 1 万余件[6]。四川彭县瓷峰窑，约始于五代至宋初，成于北宋中晚期，盛于南宋，终于宋末元初；窑址堆积绵延约 1 公里，出土有大量匣钵、各种窑具、快轮、各种印模、大量瓷片，以及“火标”等[7]。耀州窑在宋代又获得了较大发展，并形成了庞大的窑系。耀州窑在金代仍在发展，产量和质量依然保持在较高水平上，其作坊和灰坑中还出土了一批标准器，其青瓷不但可与北宋媲美，而且创造了青白玉釉的新品种[8]。越窑在唐代中期已达鼎盛阶段，此盛况大约延续到了北宋中期，北宋晚期之后越窑渐衰，产品开始趋于草率、粗糙。

宋代许多窑场都用工量较大、分工较细、管理较为严格，这从所出窑具、瓷器铭文上都可看到。如广西滕县宋代中和窑，其漏斗形匣钵外刻印有许多姓名和数字，如“林”、“程”、“梁”、“刘”、“伍”、“朱”、“任”、“马”、“周”、“莫一”、“莫十”、“莫一立”、“陈三”、“文三”、“林四”、“刘四”、“李五”、“李九”、“欧二”等 30 余个姓氏名款，此外还有 20 个左右的其他文字、数字铭，而这类刻文、印文都很少看到重复的[9]。

从发掘情况看，古代瓷窑多建在盛产瓷土、燃料，以及临水和交通便利之处。如彭县瓷峰窑，该地盛产瓷土、釉石、石英、长石、耐火土和煤炭，窑址分布于河的两岸[7]。1985 年以前广西计发现 40 多处宋代窑址，皆盛产瓷土、燃料，交通也十分便利[10]。赤峰缸瓦窑一带蕴藏有丰富的优质高岭土和煤炭[4]。杭州市发现一处南宋民营陶瓷作坊，遗址面积约 2000 平方米，出土有釉陶缸等物，与南宋皇城区近在咫尺[11]。

① 从有关文献看，景德镇陶业约始于汉，但其瓷业始于何时，学术界则有不同看法。有说其始于唐，认为这既有文字记载，也有实物资料；也有学者对此说及其依据表示怀疑，认为始于五代。详见余家栋《江西陶瓷史》，河南大学出版社，1997 年。



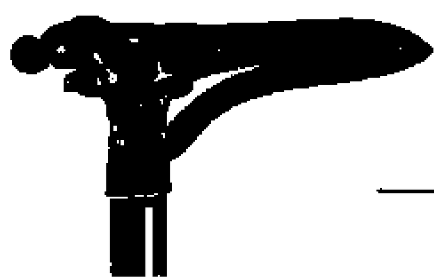


由于宋官方一再禁止民间用铜，又有百姓喝茶之风的兴起等原因，故此期民间用瓷量迅速增加，从而也促进了民间瓷业的发展。官瓷和官窑制度，也在此时逐渐完善起来，宫廷不仅强令一些民窑进贡优良产品，而且专置了窑场烧造。当时质量优良的一些窑场，如定窑、耀州窑、钧窑、汝窑、哥窑、景德镇窑等在烧造民用瓷器的同时，都烧造了一定数量的宫廷瓷器。此外宋代还有三个窑场，即浙江余姚、慈溪的越窑、汴京官窑、杭州官窑，其产品也是为宫廷垄断的，完全失去了商品性质[12][13][14][15]。汴京官窑约始于政和间，宋叶寘《坦斋笔衡》云："政和间，京师自置窑烧造，名曰'官窑'"。1998 年，慈溪上湖寺龙口窑南宋地层内出土一个外底阴刻"官"字的匣钵，说明南宋初期它便曾为宫廷烧造瓷器。北京故宫博物院和台湾故宫博物院皆收藏有汝窑、官窑、钧窑、哥窑所烧四种官瓷，关于这几个窑口的具体地点，除哥窑外，其他三窑皆已探明。1965 年河南禹县发现了烧造宫中所用钧瓷的窑址，说明北宋后期仍在禹县建立贡窑。杭州官窑先后有二，即修内司窑和郊坛下窑。宋叶寘《坦斋笔衡》云："世言钱氏有国日，越州烧进，不得臣庶用……本朝以定州白磁器有芒，不堪用，遂命汝州造青窑器；故河北唐、邓、耀州悉有之，汝窑为魁。江南则处州龙泉县窑，质颇粗厚。政和间，京师自置窑烧造，名曰官窑。中兴渡江，有邵成章提举后苑，号邵局，袭故京遗制①，置窑于修内司，造青器，名内窑。澄泥为范，极其精制，油色莹澈，为世所珍。后郊坛下别立新窑，比旧窑不侔矣。"[16]其中的"磁"即"瓷"的假借字。这里所说主要是两宋京城官窑设置情况，并谈到了南宋修内司窑和郊坛下窑。郊坛下官窑发现于 20 世纪 50 年代；修内司窑于 1996 年在杭州上城区发现，出土有大量南宋官窑瓷片[17][18]。其他名窑也烧造过官用瓷器，1977 年，建窑便出土过一件带有"供御"字样的碗垫[19]。

宋代比较注意海上贸易，并把它作为国家的一项重要税收来源。自晚唐、五代之后，瓷器便逐渐成为世界性的商品。《宋史》卷一八六"食货志·互市舶法"载，开宝"四年，置市舶司于广州，后又于杭、明州置司，凡大食，古逻……三佛齐诸蕃并通货易，以金、银、缗钱、杂色帛、瓷器，市香、药、犀、象……"《宋会要辑稿》"职官"四四之一所载略同，说以金、银、精粗瓷器与诸蕃市香、药、宾铁诸物等。朱彧《萍洲可谈》卷二在谈到商船运贩中国瓷器时说："船舶深阔各数十丈，商人分占贮货，人得数尺许，下以贮货，夜卧其上。货多陶器，大小相套，无少隙地。"宋赵汝适《诸蕃志》等也有类似的记载。其瓷器外销情况已为国外考古发掘所证实[20]，广州西村的宋代窑器在国内很少看到，却多见于东南亚诸国，说明当时已形成了专门的外贸窑场。

宋代瓷器不管在质量还是艺术外观上，都产生了较大飞跃。至迟南宋，南方青瓷胎的含铝量便出现了增长的趋势，在制釉技术上更有多项新的突破。由商周一直沿用下来的青瓷石灰釉开始向"石灰—碱釉"转变，发明或发展了铜红釉、乳浊釉、影青釉、粉青釉、梅子青、油滴釉、兔毫釉，以及片纹釉等，釉下彩技

① 《坦斋笔衡》，转引自《辍耕录》卷二九"窑器"条。"遗制"，"四库"本原作"遗製"。"遗制"和"遗製"在此皆通，但两者的含义是有差别的。





术也有了一定进步，其中许多品种都具有强烈的玉质感。发明了分室龙窑和葫芦窑；在装烧工艺中，推广了覆烧法和火照法。六大名窑，各系窑口，都为我国制瓷技术的发展作出了积极的贡献。

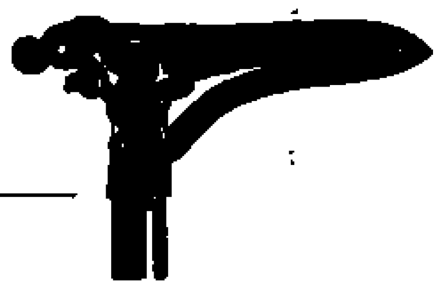
**一、南方瓷胎含铝量的提高**

因受资源条件限制，我国北方瓷胎，不管青瓷还是白瓷，一般都是高铝质的；南方则依历史年代，有过两种不同情况：东汉至五代，大体属于高硅低铝质，$SiO_2$ 常在74%以上，$Al_2O_3$ 则多处于14%～19%间；五代之后，$Al_2O_3$ 量呈现了增长的趋势。前云繁昌、武昌五代的影青瓷、白瓷所含 $Al_2O_3$ 量便达20%～21%，这应是南方高铝胎之始，北宋时高铝胎又有了一些扩展。但龙泉窑、景德镇窑的高铝胎是分别在南宋和元代之后才逐渐增多的。

宋代北方瓷胎含铝量一般都较高，尤其是白瓷（表6－3－1）。有学者分析了7件北宋定窑白瓷胎的成分[23]，其 $Al_2O_3$ 含量介于29.19%～36.33%间，平均32.907%；其他成分的平均值为：$SiO_2$ 60.84%、$Fe_2O_3$ 0.71%、$TiO_2$ 0.65%、CaO 1.58%、MgO 1.0%、$K_2O$ 1.44%、$Na_2O$ 0.74%。可见此含铝量较高，含硅量较低，铁、钛量亦较低。北方青瓷胎含铝量也较高，有学者分析过11件宋代北方青瓷片[27][30]，分属汝窑、临汝窑、耀州窑、耀州塔坡窑、宜阳窑、内乡窑、宝丰窑、陕西旬邑窑、黄堡窑，其 $Al_2O_3$ 含量介于19.01%～29.47%间，平均26.07%；其他成分的平均值为：$SiO_2$ 67.10%、$Fe_2O_3$ 1.87%、$TiO_2$ 1.3%、CaO 0.91%、MgO 0.54%、$K_2O$ 1.87%、$Na_2O$ 0.38%。与白瓷胎相比较，这北方青瓷胎的含铝量稍低，铁钛量稍高。有学者分析过3件北方宋、金定窑的白釉泛黄瓷胎[28]，其 $Al_2O_3$ 含量为27.34%～32.73%之间，平均29.43%；其他成分平均值为：$SiO_2$ 63.53%、$Fe_2O_3$ 0.9%、$TiO_2$ 0.89%、CaO 1.11%、MgO 0.76%、$K_2O$ 1.83%、$Na_2O$ 0.36%。可见此含铝量也不低。现代定窑白釉泛黄瓷胎的 $Al_2O_3$ 含量为32.19%。这种高铝质的制瓷原料在北方约有两种，一是单一的高铝质粘土，二是在这种粘土中再加入部分低铝质的高熔剂原料。据研究，宋代河南宝丰清凉寺汝官窑和临汝窑青瓷，便是用河南本地所产高铝质的神垕粘土，再加入少量长石配制成的，神垕粘土 $Al_2O_3$ 含量高达38%（表6－3－1）[27]。从部分研究情况看，在宋代，配土技术在我国南方、北方都已使用。

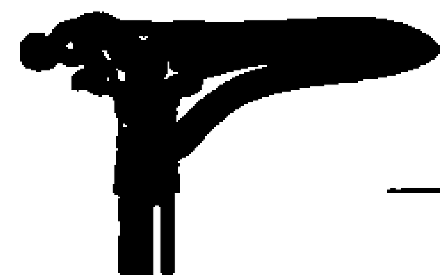
表6－3－1　　　　宋代南北瓷胎成分

| 编号 | 窑系和品名 | 成分（%） | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| S1－1 | 汝窑青瓷盆 | 65.0 | 28.08 | 1.96 | 1.38 | 1.35 | 0.56 | 1.37 | 0.15 | 痕 | [30] |
| S1－2 | 临汝窑青瓷碗 | 64.89 | 27.61 | 2.06 | 1.14 | 1.46 | 0.81 | 1.19 | 0.43 | 0.06 | [30] |
| S1－3 | 临汝窑青瓷片 | 63.95 | 28.38 | 2.53 | 1.18 | 0.93 | 0.66 | 1.55 | 0.5 | 0.03 | [30] |
| S7－1 | 耀州窑青瓷片 | 65.44 | 28.05 | 1.54 | 1.27 | 0.93 | 0.22 | 2.48 | 0.3 | 痕 | [30] |
| S7－2 | 耀州塔坡窑青瓷碗 | 68.96 | 22.39 | 2.26 | 1.17 | 1.95 | 0.62 | 2.06 | 0.51 | 0.02 | [30] |
| 61 | 河南宜阳窑青瓷碗底 | 64.13 | 29.47 | 1.73 | 1.29 | 0.4 | 0.46 | 2.03 | 0.58 | | [27] |
| 62 | 内乡窑青瓷碗底 | 65.91 | 28.61 | 0.57 | 1.93 | 0.71 | 0.37 | 1.4 | 0.71 | | [27] |
| 69 | 宝丰窑青瓷碗底 | 65.98 | 27.86 | 2.06 | 1.29 | 0.48 | 0.41 | 1.55 | 0.24 | | [27] |
| 72 | 临汝窑青瓷碗底 | 65.47 | 27.88 | 1.8 | 1.32 | 0.76 | 0.36 | 1.5 | 0.37 | | [27] |
| 243 | 陕西旬邑窑青瓷碗底 | 73.91 | 19.01 | 2.54 | 1.15 | 0.46 | 0.81 | 2.33 | 0.2 | 0.01 | [27] |
| 247 | 铜川黄堡窑印花青瓷片 | 74.49 | 19.43 | 1.56 | 1.18 | 0.54 | 0.64 | 2.12 | 0.17 | 0.005 | [27] |
| D(82)Ⅰ－8 | 北宋定窑白釉瓷 | 61.02 | 33.84 | 0.76 | 0.33 | 1.32 | 0.75 | 1.21 | 0.37 | | [23] |



**（续表）**

| 编　号 | 窑系和品名 | 成　分（%） | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| D(82) Ⅰ -10 | 北宋定窑白釉瓷 | 59.31 | 33.04 | 0.68 | 0.94 | 2.11 | 0.99 | 1.21 | 1.82 | | [23] |
| D(82) Ⅰ -17 | 北宋定窑白釉瓷 | 62.07 | 29.19 | 1.05 | 0.75 | 3.21 | 1.36 | 1.70 | 0: 55 | | [23] |
| D(83) Ⅲ -2 | 北宋定窑白釉瓷 | 59.32 | 36.33 | 0.41 | 0.87 | 1.08 | 0.85 | 0.88 | 0.79 | | [23] |
| D(83) Ⅲ -3 | 北宋定窑白釉瓷 | 60.94 | 34.78 | 0.48 | 0.66 | 1.06 | 0.75 | 1.15 | 0.46 | | [23] |
| D(83) Ⅲ -4 | 北宋定窑白釉瓷 | 61.92 | 33.95 | 0.39 | 0.56 | 0 | 0.94 | 1.77 | 0.78 | | [23] |
| D(82) Ⅰ -7 | 北宋晚期定窑白釉瓷 | 62.28 | 29.58 | 1.18 | 0.43 | 2.28 | 1.33 | 2.17 | 0.39 | | [23] |
| DS-2 | 定窑白釉泛黄瓷器 | 65.63 | 28.22 | 1.04 | 0.86 | 1.00 | 0.70 | 1.77 | 0.55 | | [28] |
| DS-3 | 定窑白釉泛黄瓷器 | 65.72 | 27.34 | 1.00 | 1.07 | 1.51 | 0.46 | 2.05 | 0.23 | | [28] |
| DJ-1 | 定窑白釉泛黄瓷器，金代 | 59.25 | 32.73 | 0.66 | 0.75 | 0.83 | 1.13 | 1.67 | 0.29 | 0.01 | [28] |
| 181 | 北宋永福窑青瓷釉盏片 | 73.87 | 19.18 | 1.94 | 1.06 | 0.5 | 0.77 | 2.1 | 0.27 | 0.01 | [27] |
| 185 | 北宋惠州窑头山窑青瓷碗底 | 72.44 | 21.92 | 1.43 | 1.07 | 0.07 | 0.35 | 2.23 | 0.19 | 0.01 | [27] |
| WS1 | 北宋武昌青山窑白瓷碗 | 72.6 | 22.1 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 4.5 | 0.1 | 0.01 | [22] |
| WS2 | 北宋武昌青山窑白瓷碗 | 72.6 | 21.1 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 4.5 | 0.1 | 0.01 | [22] |
| WS3 | 北宋武昌青山窑白瓷碗 | 72.8 | 21.4 | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 3.8 | 0.2 | 0.01 | [22] |
| WS4 | 北宋武昌青山窑白瓷碗 | 72.6 | 21.8 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 3.8 | 0.2 | 0.01 | [22] |
| WQ1 | 北宋武昌青山窑青瓷碗 | 72.1 | 20.7 | 1.5 | 0.3 | 1.3 | 0.3 | 3.6 | <0.1 | 0.02 | [22] |
| WQ2 | 北宋武昌青山窑青瓷碗 | 73.7 | 20.3 | 1.5 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 3.4 | <0.1 | 0.02 | [22] |
| WQ3 | 北宋武昌青山窑青瓷碗 | 74.5 | 21.1 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 3.0 | <0.1 | 0.01 | [22] |
| WQ9 | 北宋武昌青山窑青瓷壶 | 74.1 | 20.2 | 1.4 | 4.0 | 0.3 | 0.5 | 2.8 | <0.1 | 0.02 | [22] |
| WQ12 | 北宋武昌青山窑青瓷碗 | 69.7 | 20.9 | 3.8 | 1.0 | 0.1 | 0.7 | 2.8 | <0.2 | 0.04 | [22] |
| NSL-2 | 北宋龙泉白胎青瓷器 | 76.47 | 17.51 | 1.28 | 0.42 | 0.6 | 0.34 | 3.08 | 0.27 | 0.02 | [24] |
| NSL-1 | 北宋晚期至南宋早期龙泉白胎青瓷 | 74.23 | 18.68 | 2.27 | 0.42 | 0.54 | 0.59 | 2.27 | 0.48 | 0.02 | [24] |
| SSL-1 | 南宋晚期龙泉白胎青瓷 | 67.82 | 23.93 | 2.10 | 0.22 | 痕 | 0.26 | 5.32 | 0.32 | 0.03 | [24] |
| 48 | 南宋晚期龙泉白胎青瓷 | 68.9 | 23.46 | 1.35 | 0.18 | 0.51 | 0.29 | 4.61 | 0.49 | 0.07 | [24] |
| S3-1 | 南宋晚期龙泉白胎青瓷 | 70.95 | 21.54 | 2.39 | 痕 | 痕 | 0.06 | 4.54 | 0.43 | 0.04 | [24] |
| S3-2 | 南宋晚期龙泉白胎青瓷 | 69.76 | 22.39 | 2.36 | 痕 | 痕 | 0.39 | 4.42 | 0.75 | 0.05 | [24] |
| S3-3 | 南宋晚期龙泉白胎青瓷 | 73.93 | 18.36 | 2.43 | 0.39 | 0.31 | 0.67 | 3.16 | 0.22 | 0.15 | [24] |
| S3-4 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 61.37 | 27.98 | 4.5 | 0.74 | 0.87 | 0.73 | 3.74 | 0.38 | 0.20 | [24] |
| LK0-1 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 64.12 | 25.63 | 4.61 | 0.95 | 0.57 | 0.44 | 3.2 | 0.35 | 0.06 | [24] |
| LK0-2 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 62.18 | 27.31 | 4.3 | 0.66 | 0.45 | 0.64 | 4.08 | 0.39 | 痕 | [24] |
| LK0-3 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 63.79 | 25.54 | 4.07 | 0.63 | 0.76 | 0.51 | 4.34 | 0.26 | 痕 | [24] |
| LK0-4 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 63.77 | 25.40 | 4.95 | 0.92 | 0.67 | 0.43 | 4.15 | 0.19 | 0.06 | [24] |
| LK0-5 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 58.81 | 32.02 | 3.53 | 0.46 | 0.69 | 0.35 | 4.28 | 0.33 | 0.06 | [24] |
| LK0-7 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 63.07 | 26.06 | 4.19 | 0.73 | 0.70 | 0.51 | 4.00 | 0.25 | 0.04 | [24] |
| LK0-8 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 65.26 | 24.98 | 3.58 | 0.49 | 0.44 | 0.41 | 4.29 | 0.36 | 痕 | [24] |
| LK0-9 | 南宋龙泉黑胎青瓷器 | 64.73 | 24.77 | 4.25 | 0.55 | 0.69 | 0.50 | 4.19 | 0.26 | 0.04 | [24] |
| S9-1 | 宋湖田窑影青碟碎片 | 76.24 | 17.56 | 0.58 | 0.06 | 1.36 | 0.1 | 2.76 | 1.02 | 0.03 | [30] |
| S9-2 | 宋湖田窑影青瓷碟碗碎片 | 74.7 | 18.65 | 0.96 | 0.03 | 1.01 | 0.50 | 2.79 | 1.49 | 0.08 | [30] |
| S9-3 | 宋湖田窑影青碗碎片 | 70.9 | 22.16 | 0.92 | 0.07 | 0.84 | 0.18 | 2.5 | 1.7 | 0.06 | [30] |
| HTB-1 | 宋湖田窑青瓷 | 74.12 | 18.18 | 0.83 | 0.05 | 0.59 | 0.21 | 2.97 | 1.4 | 0.04 | [29] |
| HTB-2 | 宋湖田窑青瓷 | 74.79 | 18.35 | 0.88 | 0.05 | 0.56 | 0.2 | 2.71 | 1.38 | 0.04 | [29] |
| HTB-3 | 宋湖田窑青瓷 | 75.23 | 19.28 | 1.54 | 0.1 | 0.71 | 0.37 | 2.48 | 0.69 | 0.07 | [29] |
| HTB-4 | 宋湖田窑青瓷 | 74.96 | 18.05 | 1.4 | 0.09 | 1.05 | 0.36 | 2.24 | 1.05 | 0.08 | [29] |
| HTB-5 | 宋湖田窑青瓷 | 75.6 | 18.22 | 0.97 | 0.25 | 0.41 | 0.39 | 2.32 | 1.01 | 0.03 | [29] |
| HTB-6 | 宋湖田窑青瓷 | 74.39 | 19.81 | 0.92 | 0.24 | 0.61 | 0.29 | 2.28 | 0.64 | 0.03 | [29] |
| S10-1 | 湘湖窑影青瓷 | 75.41 | 18.15 | 0.81 | 0.35 | 0.96 | 0.63 | 2.95 | 0.46 | 0.09 | [30] |
| S10-6 | 湘湖窑厚沿白碗 | 77.39 | 17.54 | 0.63 | 痕 | 0.54 | 0.35 | 2.85 | 0.21 | 0.12 | [30] |
| | 宋重庆涂山窑系小湾窑瓷片 | 75.42 | 17.9 | 1.5 | 0.87 | 0.7 | 0.61 | 2.75 | 0.13 | | [3] |
| SK-1 | 南宋郊坛下官窑瓷碗（灰胎） | 69.12 | 22.42 | 3.87 | | 0.76 | 0.52 | 3.02 | 0.31 | | [21] |
| SK-2 | 南宋郊坛下官窑碗（胎灰黑） | 66.72 | 23.67 | 4.94 | | 0.61 | 0.72 | 3.81 | 0.42 | | [21] |
| SK-3 | 南宋郊坛下官窑瓷片 | 68.72 | 22.37 | 3.62 | | 0.79 | 0.58 | 3.46 | 0.38 | | [21] |
| DM-1 | 附：现代定窑白釉泛黄瓷 | 63.59 | 32.19 | 0.26 | 0.63 | 0.20 | 0.14 | 2.52 | 0.33 | 0.01 | [28] |
| | 河南神垕粘土 | 45.79 | 38.87 | 0.18 | 0.46 | 0.23 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.01 | [27] |
| | 河南召南长石 | 67.61 | 18.23 | 0.10 | 痕 | 0.29 | 0.02 | 10.51 | 3.67 | 0.01 | [27] |
| LJB-3 | 江西临江宋代黑釉瓷 | 66.68 | 23.03 | 1.13 | 0.74 | 0.14 | 0.53 | 6.85 | 0.5 | 0.-02 | [29] |





（续表）

| 编号 | 窑系和品名 | 成分（%） | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| LJB－4 | 江西临江宋代黑釉瓷 | 66.19 | 23.33 | 1.12 | 0.75 | 0.19 | 0.54 | 6.33 | 0.49 | 0.007 | [29] |
| LJB－6 | 江西临江宋代黑釉瓷 | 67.83 | 23.11 | 1.72 | 0.7 | 0.53 | 0.58 | 4.88 | 0.2 | 0.05 | [29] |
| LZB－1 | 江西吉州南宋黑釉瓷 | 66.77 | 23.33 | 1.31 | 0.7 | 0.12 | 0.31 | 6.63 | 0.45 | 0.001 | [29] |
| LZB－2 | 江西吉州南宋黑釉瓷 | 66.68 | 23.85 | 1.28 | 0.69 | 0.12 | 0.34 | 6.5 | 0.18 | 0.002 | [29] |
| LZB－3 | 江西吉州南宋黑釉瓷 | 67.25 | 23.07 | 0.96 | 0.74 | 0.11 | 0.14 | 6.9 | 0.49 | 0.001 | [29] |

注：(1)标本 HTB－5 原刊三氧化二铝含量为 8.22%，疑误，今写作 18.22%。

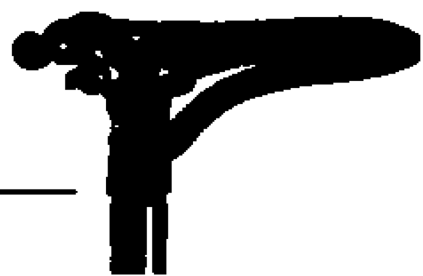
(2)标本 D(82) Ⅰ－8、D(82) Ⅰ－10、D(82) Ⅰ－17、D(82) Ⅰ－7 分别含有 $P_2O_5$：0.03%、0.08%、0.04%、0.04%。

(3)除表中所列，文献[27]所列样品 61、62、69、72、243、247、181、185 号尚含 FeO，其值分别为 1.36%、0.25%、1.37%、1.35%、0.24%、1.28%、0.22%、0.62%。

(4)除表中所列，文献[22]所列样品 WS1、WS2、WS3、WS4、WQ1、WQ2、WQ3、WQ9、WQ12 尚含 $P_2O_5$，其值皆约 0.1%。

(5)除表中所列，河南神垕粘土有 14.34% 的烧损。

宋代南方瓷胎含铝量虽较前世有所提高，但仍较北方为低，各窑口亦呈现一定差别(表6－3－1)。北宋时期，南方只有部分窑口的瓷胎含铝量稍高，如广西永福窑田岭青瓷盏的 $Al_2O_3$ 含量为 19.18%，广西滕县中和窑北宋影青瓷盏 $Al_2O_3$ 含量达 24.28%[10]，广东惠州窑头山窑青瓷碗 $Al_2O_3$ 含量为 21.92%，四川彭县瓷峰窑 1 件白瓷的 $Al_2O_3$ 含量达 29.1%[7]；有学者分析过 4 件武昌青山北宋白瓷胎[22]，其 $Al_2O_3$ 含量介于 21.1%～22.1%，平均 21.6%。有人分析过 5 件武昌青山北宋青瓷胎[22]，其 $Al_2O_3$ 含量介于 20.3%～21.1% 间，平均 20.64%。龙泉北宋青瓷胎含铝量较低，张福康分析过龙泉窑北宋至南宋早期的 2 件白胎青瓷胎，$Al_2O_3$ 含量分别为 17.51% 和 18.68%[24]。重庆涂山窑系小湾窑一件瓷胎的 $Al_2O_3$ 含量也只有 17.9%，$SiO_2$ 含量却达 75.42%[3]。江西临江窑和吉州窑在宋代都生产过部分含铝稍高的瓷器，有学者分析过此两窑的黑釉瓷，都有多件制器的 $Al_2O_3$ 含量高达 23%[29]。宋代南方瓷器成分选择技术的进步主要表现是：南宋中期之后，龙泉青瓷胎的 $Al_2O_3$ 含量多增到了 20% 以上，个别高达 32%。张福康等分析过 5 件南宋龙泉青釉白胎器，平均成分为：$SiO_2$ 70.27%、$Al_2O_3$ 21.94%、$Fe_2O_3$ 2.13%、$TiO_2$ 0.19%、CaO 0.16%、MgO 0.33%、$K_2O$ 4.41%、$Na_2O$ 0.44%、MnO 0.07%。又分析过 9 件南宋龙泉青釉黑胎器，其 $Al_2O_3$ 含量波动范围是 24.77%～32.02%，平均为 26.63%[24][25]。官窑瓷胎的含铝量亦稍高，有人分析过 3 件南宋郊坛下官窑瓷胎的成分，平均成分为：$SiO_2$ 68.187%、$Al_2O_3$ 22.82%、$Fe_2O_3$ 4.143%、CaO 0.72%、MgO 0.607%、$K_2O$ 3.43%、$Na_2O$ 0.37%[21]。此含铝量提高的原因，可能其瓷土本身便是含铝稍高的，也可能是使用了风化程度较高的高硅高铝瓷石，并经过更为充分的选、洗之故；也不能排除有的标本掺入了高铝粘土的可能性[26][27]。景德镇和越窑瓷胎的含铝量，大凡都是元代之后才有增长的[28]；有学者分析过 9 件宋代景德镇湖田窑青瓷和影青瓷片[29][30]，只有 1 件标本(S9－3)的 $Al_2O_3$ 含量稍高(22.16%)，其余 8 件都不高，成分为：$SiO_2$ 74.12%～76.24%，平均 74.55%；$Al_2O_3$ 17.56%～19.81%，平均 18.92%；其他组分的平均值为：$Fe_2O_3$ 1.0%、$TiO_2$ 0.1%、CaO 0.79%、



MgO 0.29%、$K_2O$ 2.56%、$Na_2O$ 1.2%、MnO 0.05%；可见从总体上看，宋代景德镇瓷器含铝量依然是较低的。

在此还需一提的是含铁量。北方青瓷以及宋前的南方青瓷胎多呈灰白色，这主要是 $Fe_2O_3$ 含量较高，且含一定量的 $TiO_2$ 之故，它们在高温下会生成 $FeO \cdot TiO_2$、$2FeO \cdot TiO_2$，以及 $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ 等化合物，使瓷胎呈现深浅不同的颜色。$TiO_2$ 含量越高，复合着色的效果越明显；因北方青瓷胎所含 $TiO_2$ 稍高，故往往颜色较深；南方官窑和哥窑青瓷胎所含 $Fe_2O_3$ 常在3.5%～5%左右，及至胎近黑色。此铁和钛可能是无意带入的，有的也可能是有意配入。前云5件龙泉南宋青釉白胎器的 $Fe_2O_3$ 含量平均为2.13%，波动范围是1.35%～2.43%；有学者分析过9件龙泉南宋黑胎青瓷[24]，平均成分为：$SiO_2$ 63.01%、$Al_2O_3$ 26.63%、$Fe_2O_3$ 4.22%、$TiO_2$ 0.68%、CaO 0.65%、MgO 0.5%、$K_2O$ 4.03%、$Na_2O$ 0.3%、MnO 0.05%。可见其 $Fe_2O_3$ 含量较高。一般认为，龙泉青瓷，不管是白胎还是黑胎，都配入了含铁稍高的紫金土；因龙泉瓷石的 $Fe_2O_3$ 含量多为1%以下，唯个别达2%。配入紫金土的目的：一可降低胎的白度，使胎色古朴沉着；二可利用冷却过程中的二次氧化，形成“紫口铁足”的特殊装饰[24]。紫金土配入技术至迟始于东晋，宋代把它提高到了更高的阶段。有学者认为，南宋官窑胎釉成分与北方青釉器比较接近，胎中 $Fe_2O_3$ 含量较高，还认为这是邵成章提举袭旧制，在临安设窑记载的一个旁证[30]。我们以为，这种可能性是存在的，邵成章未到过临安，但南宋官窑利用一些北方窑工及北宋官窑技术、管理经验都是可能的，但还不能定论，由表6－3－1可知，南方窑也有含铝、含铁较高者，故也不能排除其主要由南方窑工所为的可能性。

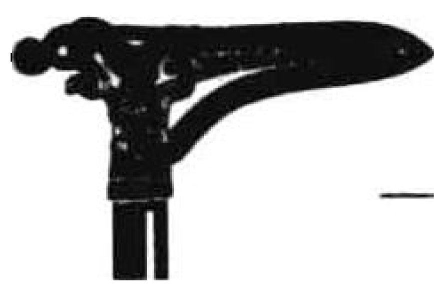
**二、原料加工和成型技术**

凡制瓷原料，大凡都要经过选择、配合、粉碎、淘洗、沉淀、练泥、陈腐等工序，其中不少工序在唐黄堡窑中都可看到，一些宋、金窑址也出土过原料加工工具。

赤峰缸瓦窑出土有粉碎矿石的石辊和石臼。石辊计两种：一为带齿碾砣，长约86厘米，碾砣圆径约58厘米，齿呈尖状，计11个，高约10厘米，宽约12厘米，碾砣中心有一方眼；二为圆形不带齿的碾砣，长约68厘米，直径62厘米，两端中部有一方孔。前者当用于初次粉碎，后者则当用于第二次粉碎。石臼包括圆柱形和方柱形两种，长约95厘米，宽约74～81厘米，高约55～57厘米，臼坎为圆形，圆径大小不一[31]，这类粉碎工具在考古发掘中所见甚鲜。从技术传统上看，辽代瓷业应源于中原的定窑等处，中原当亦早就采用了类似的粉碎工具。

重庆小湾窑出土过上扇残磨，磨面多已磨光，仅余3组深浅不等的磨齿，形制与彭县窑磨制釉石的磨子相似。小湾窑还出土一个淘洗池，连同泥料堆积坑在内，长4.62米、宽2.12米，其中泥料坑1.8米×1.8米，坑中堆有20～65厘米厚的高岭土。洗泥池用薄砖错缝铺地，池墙残高20～50厘米，以不太整齐的条方石砌成[3]。

1998年，河北井陉窑的河东坡窑区发掘窑炉7座、澄清池1组、作坊1处，完整和基本完整的瓷器、窑具400余件。窑炉年代分属唐代晚期至金，有1座为金代烧釉窑。澄清池由两个方坑组成，口径分别为2.1米、2.3米，深分别为1.1米、1.35米，底小。池底分别存有0.2米和0.5米厚的深灰色矸子泥。有的房屋





遗址中堆有矸子泥，有的堆有黄色釉土，说明这是成型、施釉处。澄清池和作坊大约皆系金代遗址[32]。

两宋时期，拉坯技术更为娴熟，目前已发现过多件快轮的转盘等器。

四川彭县瓷峰窑曾发现石质转盘（快轮）一具，状如碾盘。并有细泥灰陶座一件，八方形，高8.6厘米，直径23.3厘米，中心有上小下大的圆孔，其外沿刻有“嘉祐口口月二十二日，谢家史（使）用，赵博土造，右土西登用。”[7]。这类转盘和轴座在考古发掘中所见不多。

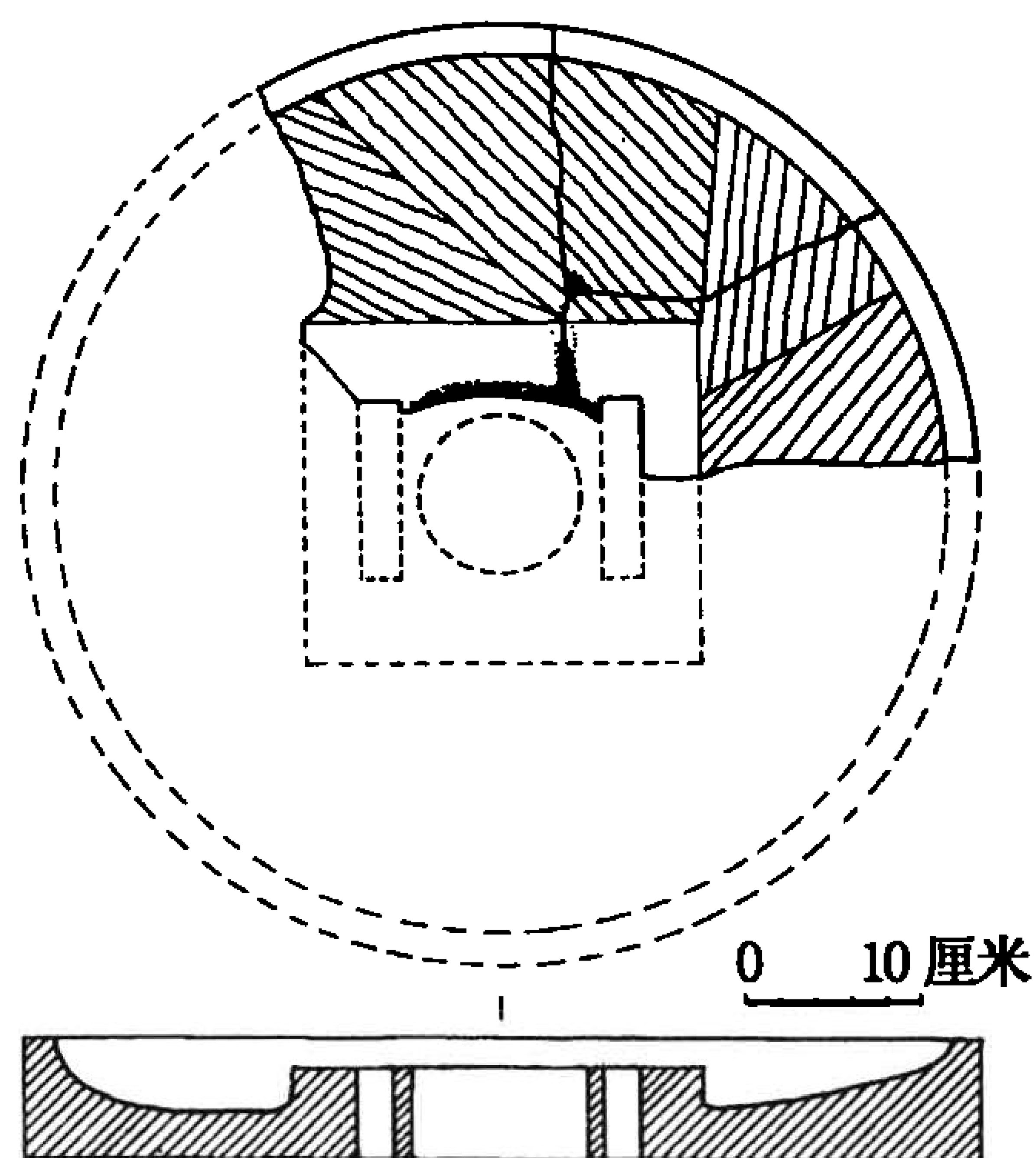



图6－3－1 重庆小湾窑石转盘

采自文献[3]

重庆小湾窑亦出土过拉坯用的石转盘，计2件，皆残，大小不等，并皆存有拉坯时拨动转盘之凹窝。一件面平，并有边框；另一件残为三小块，复原直径为54厘米，面平，其中部有一凹弦纹；底有边框，厚7厘米，盘座厚5.4厘米（图6－3－1）。此盘底座呈方形，上述彭县转盘底座是呈圆形的[3]。

福建建阳芦花坪窑址出土过拉坯成型用的瓷质“轴顶碗”4件，其中两件完整，似圆臼形，底内凹呈尖锥状，内施酱色釉，器表呈灰白色，有使用过的痕迹，口径6～7厘米，高5厘米。另2件残，成八角柱形，高5厘米。此外还有瓷质“拨手”3件，上部圆形内凹，施黑釉，下部近似方形，中穿一圆孔，口径9.7～11厘米、高7.8～9.2厘米（图6－3－2）。此外还有“套圈”5件，其套在车轴外，防止轮盘转动时产生晃动。包括轴顶碗在内，此三种工具都是快轮装置的部件。断代晚唐至南宋[33]。

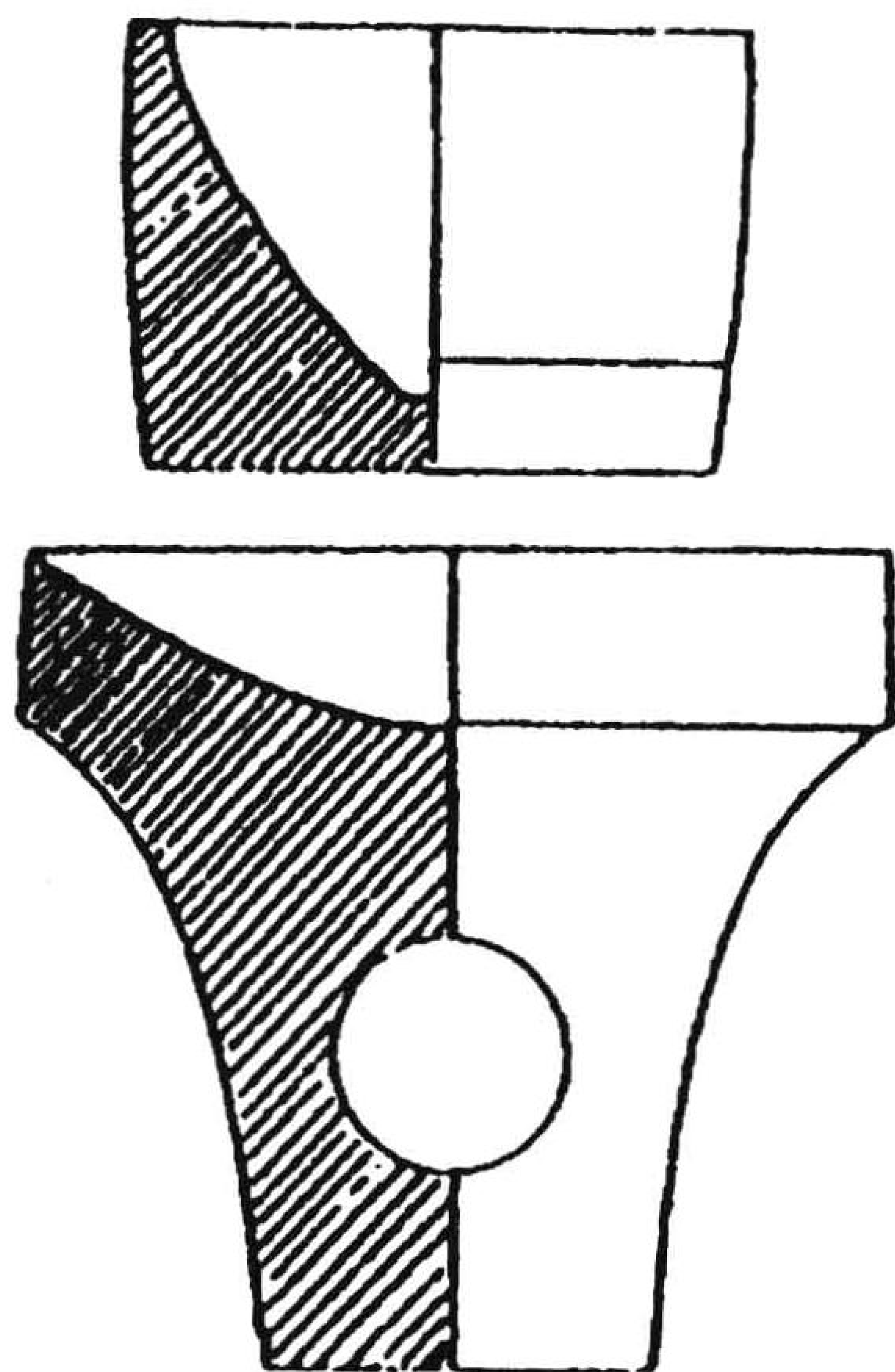


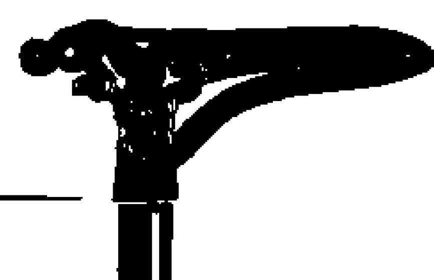
图6－3－2 建阳晚唐到南宋的瓷质轴顶碗和拨手

上：轴顶碗 下：拨手

采自文献[33]

宋、辽、金时期的一般圆形器物都普遍采用了拉坯成型[4][9][19]，一些把手、提梁，以及器形复杂的工艺品等，则仍采用模制等法。河南内乡大窑店瓷窑出土有陶质蹲狮模、陶质抱球俑模、瓷质抱球俑模。该窑约始烧于唐末，盛于宋代中叶，历经金、元[34]。诸如壶把、壶嘴、壶梁一类附件，一般亦是模制后再粘于器体上的。南宋修内司窑亦以轮制为主，个别器物采用手制、模制[17][18]。

印花是宋代瓷器使用较广的装饰，南北许



多窑口都可看到。如广西滕县中和窑瓷器装饰，以印花为主，兼用刻花和贴花等，印花占95%以上，题材有人物、花草、禽兽、海水[9]。四川彭县瓷峰窑出土过刻有花卉纹的瓷质和灰泥胎质印模，以及印纹瓷片[7]；河南鹤壁瓷窑出土过相当数量的印花瓷器，造型精致，胎质洁白细腻，壁薄如蛋壳[35]。这一方面反映了造型技术之高超，另一方面也说明了原料之精良。

**三、绚丽多姿的宋代瓷釉**

宋代的瓷釉技术在多个方面都取得了较大成就。在操作方法方面，使用了釉灰,使釉料变得更为细腻;在熔剂配制方面,增加了碱金属氧化物的含量,使碱—石灰釉占据了主导地位；着色剂技术有了提高，铜红釉的使用多了起来；形态各异的色釉和彩饰技术，同时得到了较大的发展。

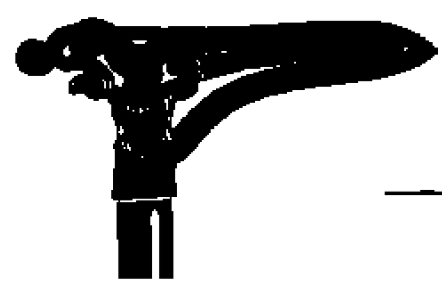
宋代瓷釉技术上的杰出成就主要表现在色釉技术上，人们通过改变着色剂种类、含量和分布状态，改变釉料的有关组成，改变施釉方法和釉层厚度，控制烧造温度和气氛等方式，来适当控制成釉过程的物理化学变化，从而创造了多相釉，使釉色达到了最佳的艺术效果，使瓷器不但成为一种品质优良的日用品，而且是一种高雅的艺术品，成为世界艺术宝库中一朵绚丽之花。钧瓷的海棠红，灿如晚霞，其窑变色釉如行云流水，又似春风拂柳；景德镇影青瓷如冰如玉；汝窑釉如砌膏凝脂；龙泉窑的梅子青翠绿欲滴；建窑的结晶釉如兔毫、似油珠，光彩照人；磁州窑的釉下黑花，清爽悦目。这些，都显示了优于唐、五代瓷釉的仪态和风范。

我国古代色釉名目繁多，尤其宋代及其之后，若以着色剂来划分，则主要是三大类[36]：即铁系、铜系、钴系等。铁系品种最多，使用最广，历史最为悠久，青釉、白釉、青白釉、黑釉，大体上都可归为铁系高温釉范围；黑釉又派生出酱色釉、油滴釉、兔毫釉等；此外还有铁系的多种低温釉、彩。我国传统高温釉主要是青釉，它是以 FeO 着色的，从原始瓷器到汉唐的越窑瓷器，基本上都烧青釉。宋代以前，北方青瓷技术一直未曾得到充分发展，质量总体上不如南方；宋代之后，南、北青瓷都发展到了一个更高的阶段，并出现了一些名窑。宋代的龙泉窑、耀州窑、官窑、哥窑、汝窑，以及各地其他名窑，都是以青釉器闻名于后世的。

（一）制釉方法的变化和釉灰的使用

一般认为，自先秦到汉、唐，我国制釉操作的基本方式是草木灰（或再加入部分石灰）加胎泥；宋后就发生了变化，主要是景德镇使用了釉灰加釉泥（釉果、釉石）的操作。人们提出这一观点的依据，一是部分文献记载和传统技术调查，二是对宋代瓷釉的科学分析。

在浩瀚的古代文献中，关于制釉方法的具体记载是到了元代才看到的。元蒋祈《陶记》在谈到当时景德镇制釉术时说："攸山、山槎灰之，制釉者取之。而制之之法，则石垩炼灰，杂以槎叶、木柹，火而毁之，必剂以岭背'釉泥'而后可用。"[45]可见，元代景德镇制釉工艺为：第一步，将攸山（游山）、山槎（仙槎）两地出产的石灰石（石垩）烧成石灰；第二步，将此"石灰"与槎叶（蕨类植物，景德镇俗称狼鸡柴）、木柹（刨削下来的木材碎片、木皮）叠烧制成釉灰；第三步，将釉灰与岭背出产的釉泥配成釉料。于是釉灰成。文献说的"釉泥"是专门用来制釉的一种天然泥土，今人又谓之釉果、釉石。表6－3－2最下端附带列出了





今世景德镇制釉原料的成分[41]。

在此值得注意的是石灰的烧制和使用过程，用化学式表示出来即为：

（1）$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$。这是烧制生石灰，即碳酸钙分解的过程。

（2）$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$。这是生石灰在空气中吸收水分，或人为地向生石灰淋水，使其变成熟石灰的过程。可惜的是文献记载未对这一过程作出描述，想必是遗漏了，但它的存在是必然的，否则后面的操作便不好理解。

（3）$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3$。这是熟石灰与狼鸡柴、木柿一起叠烧的过程，叠烧过程中生成的 $CO_2$ 与熟石灰 $Ca(OH)_2$ 作用，就会变成颗粒细小而疏松的 $CaCO_3$，其与草木灰合在一起，即“釉灰”。这种釉灰因粒度较细而会使釉面更为光洁。

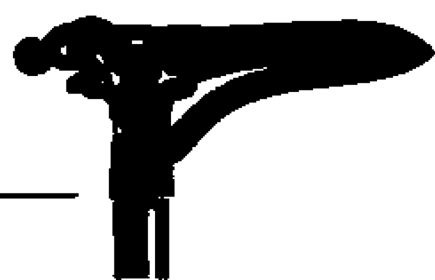
今景德镇使用的釉灰分头灰、二灰两种，头灰就是只经粉细、过筛、淘洗者；二灰即是先经过一两个月的陈腐，之后再经炼制者[41]。

这是文献上所记的元代制釉工艺，因景德镇传统制釉法与此大抵相类似，而宋代景德镇等地瓷釉成分又显示了与汉、唐有别，为此人们便推测，此釉灰技术很可能宋代便已发明。至于用于叠烧的草木种类，则未必与蒋祈所云完全一致，现代学者也有不同说法。关于宋代瓷釉成分，下面即刻谈到。

（二）熔剂成分的变化和南宋石灰—碱釉、碱—石灰釉的使用

依釉中石灰等几种主要助熔剂的含量，人们将瓷釉区分成了石灰釉、石灰—碱釉、碱—石灰釉，前二者的主要熔剂都是 $CaO$，后者的主要熔剂是 $K_2O$ 和 $Na_2O$。此三种釉皆早在先秦便已出现，但此后相当长一个时期内，都是以石灰釉为主的；在北方，石灰—碱釉和碱—石灰釉到唐代才明显地增多起来；在南方，一般认为是南宋之后才增多，并占据主导地位的。但对石灰釉、石灰—碱釉如何界定，人们却有一些不同看法。有人以 $0.3K_2O$、$0.7CaO$ 为石灰釉的标准碱性成分；又有人把8%的 $CaO$ 含量作为石灰釉与石灰—碱釉的分界线[37]。李家治等提出了使用釉式中 RO 分子数为标准的划分法，即釉式中“$RO + R_2O$”的摩尔数为1时，若 RO 的分子数大于0.76，则为“石灰釉”；若为0.5～0.76，则为“石灰—碱釉”；小于0.5，则为“碱—石灰釉”[38]。此所谓“分子数”，实际上是 $RO/(RO + R_2O)$ 的一种比值，但它不是重量百分比含量的比值，而是分子数的比值；它是以分子数形式表现出来的，碱土金属氧化物在主要熔剂中所占的份额。为区别起见，且名之为“釉式分子数”。此在第四章、第五章都曾提及。张福康则采用一种更为简便的办法，将石灰釉中助熔剂含量定为：$CaO + MgO$ 为14%～22%，$K_2O + Na_2O$ 为1%～4%；将“石灰—碱釉”助熔剂含量定为：$CaO + MgO$ 为6%～10%，$K_2O + Na_2O$ 为5%～8%；将“高碱釉”助熔剂含量定为：$K_2O$ 为10%～20%[39]。宋代青釉技术的主要成就是：南方瓷器亦开始了由石灰釉向“石灰—碱釉”的转变，釉层厚度大为提高，并进一步控制了还原烧成，烧出了梅子青、粉青釉等名贵产品。宋和宋前，青瓷一直是我国瓷器生产的主流[40][41]。

张福康等分析过16件宋代龙泉青瓷釉的成分[24]，依釉色之不同，其成分计有三种不同情况（表6-3-2）：（1）黄绿色青瓷釉片，2件，属北宋（或至南宋早期），其成分分别为：$SiO_2$：59.37%、63.25%；$Al_2O_3$：15.96%、16.82%；$Fe_2O_3$：1.8%、

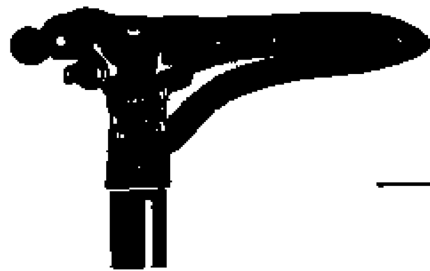




1.42%；$TiO_2$：0.39%、0.23%；CaO：16.04%、13.0%；MgO：2.04%、1.09%；$K_2O$：3.43%、3.26%；$Na_2O$：0.32%、0.57%；MnO：0.62%、0.43%。（2）黑胎青瓷釉片，7件，属南宋晚期，平均成分为：$SiO_2$ 64.36%、$Al_2O_3$ 15.45%、$Fe_2O_3$ 1.03%、$TiO_2$ 0.08%、CaO 14.17%、MgO 0.69%、$K_2O$ 4.0%、$Na_2O$ 0.33%、MnO 0.08%。（3）粉青釉（4件）、虾青釉（1件）、淡黄色青瓷釉（1件）、梅子青釉（1件），计7件，属南宋晚期，平均成分为：$SiO_2$ 67.2%、$Al_2O_3$ 14.68%、$Fe_2O_3$ 1.23%、$TiO_2$ 0.1%、CaO 10.0%、MgO 0.75%、$K_2O$ 4.6%、$Na_2O$ 0.76%、MnO 0.17%。可见：（1）宋代龙泉青釉的 $Fe_2O_3$ 量已明显降低，尤其南宋，平均只有1.0%～1.3%；（2）其 CaO 量亦明显降低，尤其南宋的粉青釉。（3）$K_2O$ 量已明显升高，南宋晚期上升至4.0%以上。1件南宋晚期龙泉粉青釉的 $K_2O$ 高达5.06%[24]。从大量分析资料看，宋代以前助熔剂总量 $R_xO_y$ 多介于22%～25%；宋代，尤其南宋之后，便逐渐下降至14%～18%。助熔剂减少主要是含钙量下降之故，因 CaO 在历代青釉中常占助熔剂总量的40%～80%。含钙量下降，含钾量升高，青釉助熔剂就从以石灰为主，变成了以石灰—碱为主，由石灰釉变成了"石灰—碱釉"[36]。今采用氧化物的釉式分子数计算法来判断釉的属性。先令（RO + $R_2O$）的摩尔数为1，经计算，南宋晚期龙泉的淡粉青釉 SSL－1、粉青釉 S3－1、虾青釉 S3－2，其碱土金属氧化物 RO 的釉式分子数分别为0.74、0.74、0.73，皆介于0.5～0.76之间，属"石灰—碱釉"（表6－3－3）。由上述分析资料看，北宋时期，龙泉青釉还是沿用石灰釉的，南宋时期才实现了向石灰—碱釉的转变。

**表6－3－2　　宋代青釉白釉黑釉及今制釉原料的成分**

| 样号 | 时代名称 | 成分(%) | | | | | | | | | 资料出处 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| FDL－1 | 北宋龙泉黄绿色青瓷釉 | 59.37 | 15.96 | 1.8 | 0.39 | 16.04 | 2.04 | 3.43 | 0.32 | 0.62 | [24] |
| NSL－1 | 北宋晚南宋早龙泉黄绿色青瓷釉 | 63.25 | 16.82 | 1.42 | 0.23 | 13.0 | 1.09 | 3.26 | 0.57 | 0.43 | [24] |
| SSL－1 | 南宋晚期龙泉淡粉青釉 | 69.16 | 15.4 | 0.95 | 痕 | 8.39 | 0.61 | 4.87 | 0.32 | 痕 | [24] |
| 48 | 南宋晚期龙泉淡粉青釉 | 67.97 | 14.79 | 未测 | 0.32 | 9.07 | 0.72 | 4.43 | 未测 | 0.02 | [24] |
| S3－1 | 南宋晚期龙泉粉青釉 | 65.63 | 15.92 | 1.1 | 痕 | 9.94 | 0.86 | 5.06 | 1.12 | 0.32 | [24] |
| S3－2 | 南宋晚期龙泉虾青釉 | 65.73 | 14.58 | 2.3 | 0.1 | 9.74 | 0.92 | 4.94 | 1.27 | 0.20 | [24] |
| S3－3 | 南宋晚期龙泉淡黄色青瓷釉 | 66.33 | 14.28 | 0.99 | 0.03 | 11.34 | 1.17 | 4.35 | 0.99 | 0.36 | [24] |
| SSL－6 | 南宋晚期龙泉粉青釉 | 68.63 | 14.32 | 1.01 | 0.12 | 10.02 | 0.32 | 4.31 | 1.08 | 0.12 | [24] |
| SSL－7 | 南宋晚期龙泉梅子青釉 | 66.97 | 14.71 | 1.01 | 0.14 | 11.51 | 0.65 | 4.26 | 0.54 | 0.20 | [24] |
| S3－4 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 65.31 | 16.61 | 0.83 | 痕 | 12.24 | 0.82 | 3.75 | 0.45 | 0.08 | [24] |
| LK0－1 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 63.13 | 15.26 | 0.98 | 痕 | 16.18 | 0.32 | 3.39 | 0.41 | 0.03 | [24] |
| LK0－3 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 65.67 | 15.88 | 1.03 | 0.25 | 12.11 | 0.85 | 4.24 | 0.22 | 0.03 | [24] |
| LK0－4 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 63.35 | 14.42 | 1.03 | 0.12 | 16.66 | 0.86 | 3.97 | 0.28 | 0.11 | [24] |
| LK0－5 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 66.07 | 15.81 | 1.19 | 痕 | 11.98 | 0.33 | 3.97 | 0.38 | 0.08 | [24] |
| LK0－7 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 66.08 | 14.43 | 1.01 | 0.11 | 13.18 | 0.86 | 4.58 | 0.28 | 0.16 | [24] |
| LK0－9 | 南宋晚期龙泉黑胎青瓷釉 | 60.91 | 15.73 | 1.16 | 0.12 | 16.83 | 0.82 | 4.09 | 0.26 | 0.10 | [24] |
| NST2(2) | 北宋德化窑白瓷釉 | 68.7 | 19.39 | 0.42 | 0.02 | 4.79 | 0.31 | 4.61 | 0.16 | | [28] |
| NST3(2) | 北宋德化窑白瓷釉 | 72.19 | 15.22 | 0.58 | | 6.55 | 0.25 | 4.56 | 0.17 | | [28] |
| S9－2 | 宋湖田窑影青碗釉片 | 66.68 | 14.3 | 0.99 | 痕 | 14.87 | 0.26 | 2.06 | 0.31 | 0.15 | [30] |





（续表）

| 样号 | 时代名称 | 成分(%) | | | | | | | | | 资料出处 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| S10－1 | 宋湖田窑影青碗釉片 | 67.26 | 17.08 | 0.93 | 0.12 | 10.05 | 1.9 | 2.27 | 0.3 | 0.20 | [30] |
| 4 | 宋山西临汾油滴釉片（碗） | 68.63 | 13.83 | 4.17 | 0.87 | 4.28 | 1.88 | 4.32 | 1.05 | 0.09 | [53] |
| 192 | 北宋建窑兔毫釉 | 58.66 | 20.59 | 3.22 | 0.69 | 6.85 | 1.92 | 3.72 | 0.24 | 0.82 | [53] |
| 附1 | 今世景德镇釉灰（头灰） | 3.25 | 0.56 | 0.79 | / | 55.32 | 1.13 | 0.22 | 0.15 | / | [41] |
| 附2 | 今世景德镇釉石（釉果） | 74.43 | 14.64 | 0.62 | 0.06 | 1.97 | 0.16 | 2.90 | 2.38 | 0.02 | [41] |

注：（1）除表中所列，宋山西临汾油滴釉片（4号）尚含FeO 1.05%、$Cr_2O_3$ 0.02%、CuO 0.03%、CoO 0.03%。

（2）北宋建窑兔毫盏釉片（192）尚含FeO 2.47%、$Cr_2O_3$ 0.01%、CuO 0.02%、CoO 0.02%。

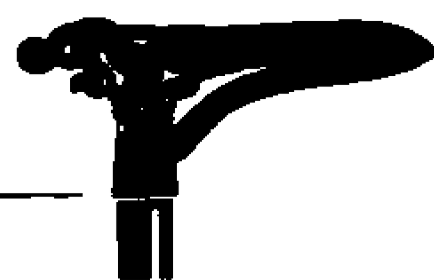
（3）北宋德化窑白瓷釉含$P_2O_5$：NST2（2）为0.08%、NST3（2）为0.01%。

（4）今景德镇制釉原料的烧损量：釉灰（头灰）为38.51%，釉石为2.85%。

**表6－3－3　　宋釉碱土金属和碱金属氧化物的釉式分子数计算**

| 样号 | 分子数类别 | 氧化物及其分子量 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CaO 56.08 | MgO 40.32 | $K_2O$ 94.19 | $Na_2O$ 61.99 |
| 南宋晚期龙泉淡粉青釉SSL－1 | 重量百分比的分子数 | 8.39/56.08 =0.149608 | 0.61/40.32 =0.015129 | 4.87/94.19 =0.051704 | 0.32/61.99 =0.005162 |
| | 令（RO＋$R_2O$）为1时，釉式中的分子数 | 0.149608/0.221603 =0.6751172 | 0.015129/0.221603 =0.0682707 | 0.051704/0.221603 =0.2333181 | 0.005162/0.221603 =0.0232939 |
| 南宋晚期龙泉粉青釉S3－1 | 重量百分比的分子数 | 9.94/56.08 =0.1772467 | 0.86/40.32 =0.0213293 | 5.06/94.19 =0.0537212 | 1.12/61.99 =0.0162929 |
| | 令（RO＋$R_2O$）为1时，釉式中的分子数 | 0.1772467/0.26859 =0.6599215 | 0.0213293/0.26859 =0.0794121 | 0.0537212/0.26859 =0.2000119 | 0.0162929/0.26859 =0.0606608 |
| 南宋晚期龙泉虾青釉S3－2 | 同前法，略 | 0.1736804 | 0.0228174 | 0.0524471 | 0.0204871 |
| | 同前法，略 | 0.6446168 | 0.084687 | 0.194658 | 0.0760381 |
| 北宋德化白瓷釉NST2(2) | 同前法，略 | 0.0854136 | 0.0076884 | 0.048946 | 0.002581 |
| | 同前法，略 | 0.5905703 | 0.0531594 | 0.3384245 | 0.0178456 |
| 北宋德化白瓷釉NST3(2) | 同前法，略 | 0.1167974 | 0.0062003 | 0.0484127 | 0.0027423 |
| | 同前法，略 | 0.6706608 | 0.0356026 | 略 | 略 |
| 宋临汾油滴釉片（碗4号） | 同前法，略 | 0.0763195 | 0.0466269 | 0.0458674 | 0.0169382 |
| | 同前法，略 | 0.4108677 | 0.2510169 | 略 | 略 |

石灰—碱釉占据主导地位，是宋代制瓷技术的一项重要成就。由商到隋、唐、五代，我国青釉大体皆属石灰质，主要助熔剂是氧化钙，其次是氧化钾；前者主要由草木灰（或石灰、方解石）引入，含量常为16%～20%。石灰釉的优点是高温粘度较低、流动性较好、透光性较强、硬度亦较高；缺点是因其熔融温度较窄，易于流釉，故其釉层厚度一般皆小于0.5毫米。宋代窑工常把制瓷当成了仿玉之作，为追求青瓷瓷釉的玉质感，他们把釉层厚度增加到了1.0毫米，梅子青釉甚至达到了1.5毫米。此时，石灰釉再不能适应这一需要，便创造出了石灰—碱釉。此釉的优点是：高温粘度较大，故釉厚而不流、气泡析出却不变大、光泽柔和、质感丰满幽雅，色泽如玉。具体操作约有两种方式：（1）以釉灰代替草木灰[36]，釉灰主要由草、竹枝叶，如凤尾草[42]，或者用毛竹枝叶，与石灰叠烧数次，再经陈腐而成，其中毛竹灰所含$K_2O$量高达27%。（2）选用风化程度较浅，含$K_2O$、$Na_2O$较高的瓷石制釉，以提高$K_2O$含量[43]。釉灰的使用，是宋代制釉技术的一项



重要事件。

在此还有两件事值得注意：一是我们说前期瓷釉多数属石灰釉，这主要是指青瓷釉说的，因白瓷釉的 CaO 量一般较低，南方北方皆然。如表 6－3－2 所示 2 件北宋德化窑白瓷釉，其 RO 量较低，$R_2O$ 却较高[28]，经计算，两标本的釉式分子数分别为 0.64、0.71（表 6－3－3），皆属“石灰—碱釉”。这说明南方德化白瓷在北宋便使用了“石灰—碱釉”；前章还谈到，北方白瓷早在隋唐时期，便使用了“石灰—碱釉”，乃至“碱—石灰釉”。所以我们说石灰釉向“石灰—碱釉”的转变，实际上是指南方青釉说的。二是北方白瓷釉含 MgO 量亦较高，一般认为此 MgO 应是有意配入的[36]。这种钙—镁釉大约唐代使用稍多，宋代亦有使用，之后便衰，大体上可视为石灰釉的一个特例。

（三）着色剂技术的发展和铜红釉的使用

前面说到，我国古代瓷釉的着色剂主要是铁、钴、铜三种，我国传统高温色釉中，最为重要的品种是以 FeO 着色的青釉，由原始青瓷到汉晋时期的越窑，及至宋代诸名窑，基本上都是烧青釉为主的；宋代以前，青釉瓷是我国瓷器生产的主流，其次是白釉瓷，宋后才发生了一些变化，即烧造了铜红釉瓷器。

铜红釉是以铜为着色剂的高温色釉，始见于唐长沙窑[44]。宋时，在钧窑得到了一些发展，其釉色有“海棠红”、“玫瑰紫”、“红霞”等；青釉是以 FeO 着色的，铜红釉则以 $Cu_2O$ 着色，皆还原焰烧成；铜的着色能力极强，铜红釉所含 CuO 通常只有 0.1% ~ 0.3%[40]。有人认为早期钧红釉的 CuO 含量为 0.004% ~ 0.45%[46]。有人认为铜红的玻璃熔体在高温下有多种存在形式，所以成分有微量波动，温度、气氛的些许变化，都可能引起平衡的移动，使釉呈现出各种不同的色彩。古钧瓷以青蓝居多，紫红次之，彩色多变，其主要着色因素当为 CuO 和 $Cu_2O$。近代铜红釉以红紫居多，着色因素应以 $Cu_2O$ 和 CuO 为主[47]。钧釉的紫色原是红釉与蓝釉互相熔合的结果，钧釉的紫斑则是在青蓝釉上又涂了一层铜红釉之故。钧红创于北宋，盛于徽宗建中靖国至政和（1101 ~ 1118 年）间，后来传到了景德镇。铜红釉的发明和发展，是色釉史上一个重要事件，它进一步改变了色釉中由单色青釉一统天下的局面，对宋、元时期的海棠红和玫瑰紫，明、清的宝石红、霁红、郎窑红、桃花片以及某些窑变花釉等技术的发明和发展，都产生了重要影响。

我国古代花釉约有两种类型：一是底釉与面釉颜色深浅不一所致者，为唐代多见；二是两种或两种以上的色釉在一定温度下自然流淌而成者，如窑变花釉等，为宋后多见。

（四）形态各异的宋代瓷釉

1. 乳浊釉的迅速发展

乳浊釉的基本特征是其状如乳浊，色质莹润如玉。批量的乳浊釉器始见于梁怀安窑上，唐婺州窑上亦有使用，宋后在钧窑中得到了较为充分的发展。

乳浊釉实际上是一种“液—液”分相釉，由于原料成分、烧成温度和气氛等方面原因，烧成过程中产生了“液—液”之间的相分离，使釉中形成了无数亚显微尺寸的液相小滴，使光线散射而呈现柔和的乳光[48]。一般而言，釉的熔体产生

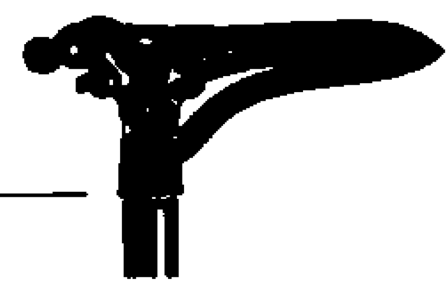
"液—液"分相时，在成分上必需满足两个条件：（1）含有一定量的分相剂、乳浊剂，这在釉的诸组分中主要指磷和钛的氧化物；因我国南北青瓷含钛量都不高，故主要又指磷的氧化物。（2）不利于"液—液"分相的因素应尽量少些、弱些，在青釉诸组分中，铝等是不利于分相的；若 $SiO_2/Al_2O_3$ 的比值较高，即 $SiO_2$ 含量较多，$Al_2O_3$ 量较少，则有利于分相釉形成。从科学分析可知，钧釉所含 $P_2O_5$ 为 0.5% ~0.95%（宋官钧釉为 0.5% ~0.6%）；所含 $SiO_2$ 常为 70%左右，$Al_2O_3$ 约为 10%左右。其 $SiO_2/Al_2O_3$ 的比值较高（宋官钧为 12.5 左右）。在所有青瓷中，钧瓷釉的 $Al_2O_3$ 量是最低的，但 $SiO_2$ 却较高，是一种很好的"液—液"分相组分。钧釉中的分散相（悬浮着的无数圆球状小珠滴）含 $Al_2O_3$ 较多，其连续相则含 $P_2O_5$ 较多[28][40]。从大量研究情况看，乳浊釉是在低温，以及还原性气氛下，经长时间才能烧成的，分相过程一般在 1200℃以下进行。一般青釉都是均相的，宋钧等窑系通过改变原料条件，控制烧造温度和气氛，烧出了二相或多相釉，这是宋代制釉技术上的又一杰出成就。

在此有一点需说明的是，我国青釉一般都含有一定数量的磷、钛、硅、铝，这些组分的相对数量对"液—液"分相的形成，至关重要。一般窑系的青釉所含 $Al_2O_3$ 皆高于钧釉，但一般窑系的 $SiO_2$ 却较之为低，故很难产生出"液—液"分相来。在适当温度条件下，虽可析出大量微型气泡和微型晶团，但这是另一种形式的分相，其散射光亦可使青釉产生某种乳浊效果，但无钧釉那种乳光，无那般莹润，那样具有柔和的玉质感，且当温度升高时，微型气泡会聚集成稍大的气泡逸出，微晶亦会回熔于釉中，最后成为透明或半透明状[26][27]。

2. 关于窑变釉

这是釉料在窑内高温物理化学作用下，出乎意料地突然变化，而自然得到的色釉。其始是无意的，后来人们便有意地利用了这种自然的变化，而获得一种具有极高观赏价值的产品。这种现象在多个窑口都曾发生过，但宋钧的窑变，已具有一定工艺水平。清《南窑笔记·均窑》在谈到清代窑变工艺时说："今所造法，用白釉为底，外加釉里红、元子少许，罩以玻璃、红宝石、晶料为釉，涂于胎外，入火借其流淌，颜色变幻，听其自然，而非有意预定为某色也。其覆火数次成者，其色愈佳。"此"均窑"即"钧窑"，"元子"系浙江所产的一种青料。这对我们了解宋钧窑变工艺也是很有帮助的。

窑变釉是一种"液—液"分相釉，它既具有二液分相釉的共性，在成分和结构上又具有一些独自的特点。一般认为，窑变是在特定工艺条件下出现的，影响因素较为复杂，其中最为基本的是产生了二液分相釉，釉的成分、着色剂（铜铁）数量、釉的粘度和表面张力，以及温度和气氛控制等工艺因素对二液分相釉的形成都有一定影响。刘凯民[49]、陈显求[50]等都曾对它进行过许多研究。与一般青釉相比较，一般钧釉的特点是：（1）碱金属氧化物与碱土金属氧化物之比，即 $R_2O/RO$ 多处于 0.17:0.83 ~0.25:0.75 之间；而南宋龙泉粉青、梅子青等釉的 $R_2O/RO$ 之比则处于 0.268:0.732 ~0.331:0.699 之间。（2）其 $SiO_2/Al_2O_3$ 之比值绝大多数大于 11，最高达 13.3；在龙泉青釉中，这一比值仅为 6.57 ~8.25。（3）其 $P_2O_5$ 较龙泉青釉为高，官钧和某些元钧釉还含有较高的 $TiO_2$。这是影响一般钧釉





的乳光效果，使钧釉产生二液分相，并呈现乳光蓝色的内因。在成分上，影响钧釉窑变效果的关键是：$SiO_2/Al_2O_3$ 须大于 12，这一成分范围可称为“窑变区”；而典型的早期宋钧单色乳光釉的 $SiO_2/Al_2O_3$ 是小于 12 的，这一区域可称为“单色釉区”。即是说，具有较低的 $Al_2O_3$ 量（<10%）和较高的 $SiO_2$ 量（$SiO_2/Al_2O_3>12$），才有利于窑变，否则不利于窑变，而易于形成单色乳光釉。当然，影响窑变的因素决不止化学成分一个，烧造温度等也是十分重要的，如若出现了生烧或轻微生烧，自然都会影响到窑变发生[49]。

从结构上看，钧釉呈现复杂色彩变化与其分相结构的宏观不均匀性是密切相关的。在显微结构中，窑变釉背景区的分相釉液滴直径皆小于瑞利散射的粒径上限，故其选择性地散射波长较短的蓝光，外观上呈现半透明状的天青色或天蓝色；而流纹区中的绝大部分液滴的直径皆大于散射的粒径上限，其不发生选择性的光散射，而将全部可见光漫射出来，故呈现半透明或不透明的淡蓝色和蓝白色；若釉中含有千分之几的 CuO，背景区就变成紫红色，流纹区仍为淡蓝至蓝白色；CuO 的引入并非产生窑变的内因[49]。

3. 影青瓷的发展

“影青”，又作隐青，实为白胎青釉器。釉色极淡，或隐或现，洁白细腻的胎骨亦或隐或现。始创于五代安徽繁昌窑，宋后迅速推广开来，江西景德镇、江西南丰窑、吉州窑、广东潮安窑、浙江江山窑、广西容县窑、湖北湖泗窑等都烧影青瓷，其中又以景德镇湖田窑最负盛名[51]。宋代已有“青白瓷”的专名。耐得翁《都城纪胜》“铺席”条载:“都城天街……有大小铺席，皆是广大货物，如平津桥沿河，布铺、扇铺、温州漆器铺、青白碗器铺之类。”此明确地说到了青白瓷碗。宋赵汝适《诸蕃志》卷上载:“阇婆国……番商兴贩夹杂金银，及金银器皿、五色缬绢、皂绫……漆器、铁鼎、青白甆(瓷)器，交易此番胡椒。”此说用“青白瓷”与诸蕃贸易。吴自牧《梦粱录》也说到过临安(今杭州)设有专卖“青白瓷”的瓷器铺。

周仁等分析过 3 件宋代湖田窑影青瓷胎成分[30]，平均值为 $SiO_2$ 75.95%、$Al_2O_3$ 19.46%、$Fe_2O_3$ 0.82%、$TiO_2$ 0.05%、CaO 1.07%、MgO 0.26%、$K_2O$ 2.68%、$Na_2O$ 1.74%、MnO 0.06%，这成分与南方白瓷胎大体一致，铁钛量亦较低，故胎色大体洁白。周仁等还分析了其中两件湖田窑影青瓷的釉层（表 6-3-2）[30]，平均值为：$SiO_2$ 66.97%、$Al_2O_3$ 15.69%、$Fe_2O_3$ 0.96%、$TiO_2$ 0.06%、CaO 12.46%、MgO 1.08%、$K_2O$ 2.17%、$Na_2O$ 0.31%、MnO 0.18%[30]。可知其石灰量已降低，但钾、钠量不高，仍属石灰釉。在显微镜下，湖田窑影青釉清澈透明，为均相釉，釉中几乎看不到残留石英，釉泡亦少。大凡影青瓷都是用还原性气氛烧造的。据分析，湖田窑影青釉 SER 谱线是含 $Fe^{3+}$ 离子的硅酸盐玻璃特征线，若其中 $Fe^{3+}$ 浓度较低，而 $Fe^{3+}-O-Fe^{2+}$ 原子团浓度较高的话，则釉色偏青，反之则偏黄[48]。自然，釉层厚度也影响到影青釉呈色；白瓷釉的厚度常为 0.2 毫米，可见光基本上皆可通过，故给人以白色之感。影青釉厚常为 0.3 毫米，印花处可达 0.6 毫米，其对可见光作选择性吸收，故其呈色与白釉不同[36]。影青釉的 $Fe_2O_3$ 含量一般较低，白釉的 $Fe_2O_3$ 含量更低（表 6-3-2）。

4．粉青釉、梅子青釉的出现

它们是龙泉青釉器的两个特殊品种，前者色如青玉，后者可与翡翠媲美。龙泉窑约兴起于北宋初期，专烧青瓷，南宋晚期便达到了鼎盛阶段；明清之后，因景德镇彩瓷的兴起而渐衰退。粉青釉和梅子青皆产生于南宋晚期，属石灰—碱釉，都在还原性气氛中烧成。

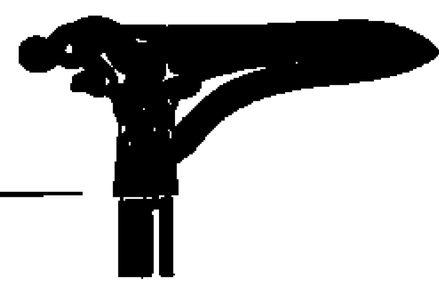
粉青釉的特点是烧成温度偏低，常为1230±20℃，釉料熔融不透，釉层中存在大量残留石英和硅灰石，其尺寸多在10微米之下，因光线不易穿透而使透明度大为降低。同时因釉中存在大量气泡，以及玻化较差而引起釉面微区不平，都会使粉青釉具有一种玉质感。张福康分析过4件龙泉南宋晚期粉青釉[24]，平均成分为：$SiO_2$ 67.85%、$Al_2O_3$ 15.11%、$Fe_2O_3$ 1.02%、$TiO_2$ 0.11%、CaO 9.36%、MgO 0.62%、$K_2O$ 4.67%、$Na_2O$ 0.84%、MnO 0.12%。可知其CaO已降低，$K_2O$则明显增高。这种釉是需1280℃以上才能烧成的。其实这种瓷器的胎质都呈现了不同程度的生烧[24]。

梅子青釉与粉青釉不同，它熔融较透，釉层中很少看到残留石英颗粒和钙长石结晶，气泡亦鲜，故釉层清澈透明，釉面光泽较好。其工艺上的两个重要特点是：（1）烧成温度较高，还原性气氛更浓，釉中$Fe^{2+}$更多。（2）釉层更厚，其色态给人一种青翠欲滴之感。有学者分析过1件南宋晚期龙泉梅子青釉片，成分为：$SiO_2$ 66.97%、$Al_2O_3$ 14.71%、$Fe_2O_3$ 1.01%、$TiO_2$ 0.14%、CaO 11.51%、MgO 0.65%、$K_2O$ 4.26%、$Na_2O$ 0.54%、MnO 0.2%[24]。此成分与前述粉青釉并无太大差别。

5．油滴釉和兔毫釉的发明

我国古代黑釉原始瓷始见于夏商之际的马桥文化，黑釉真瓷始于东汉，唐代开始流行，宋代达到了极盛的阶段，在全国各地窑场中，大约有1/3都烧过黑釉瓷器，有兼烧的，也有专烧的。早期黑釉亦属石灰釉，宋辽之后[52]才逐渐转变成了石灰—碱釉。南北历代黑釉大凡皆在偏氧化气氛中烧成[36]。油滴釉、兔毫釉，以及玳瑁釉等，都是人们通过控制原料成分以及烧成温度、气氛、釉层厚度等而创造出来的黑釉器新品种，皆因其外部形态而定名，它们的出现，从另一个角度显示了宋代窑工的杰出创造。

油滴釉。为结晶釉，始见于宋。主要特征是釉面上布满了状如油滴印迹的银灰色或红色小圆斑。河北定窑、河南鹤壁窑、山西临汾窑等都有烧造。临汾一件瓷片的油滴釉斑直径达1.5毫米。显微观察表明，银色油滴釉实际上是无数赤铁矿和磁铁矿小晶的聚集体，红色油滴釉则主要是赤铁矿小晶的聚集体，它们周围都存在着钙长石晶束和液相分离的结构。有人认为油滴釉的形成与釉层中的气泡有关，当温度达到1200℃以上时，釉层中的铁氧化物会大量分解成FeO和$O_2$，并产生大量气泡，其四周便聚集了许多铁的氧化物；气泡一旦上升到釉面并破裂后，铁氧化物来不及扩散，就残留下来而成了油滴状物。有学者分析过一件宋代山西临汾油滴釉（碗），其$Fe_2O_3$含量为4.17%、$TiO_2$含量为0.87%、CaO 4.28%、MgO 1.88%、$K_2O$ 4.32%、$Na_2O$ 1.05%、FeO 1.05%、MnO 0.09%、$Cr_2O_3$ 0.02%、CuO 0.03%、CoO 0.03%。可见：（1）CaO含量较低，$K_2O$、$Na_2O$含量较高。经计算，其RO的釉式分子数为0.66（表6－3－2、表6－3－3），属石灰—碱釉。（2）着色剂FeO





含量较高。此外还有不同数量的其他着色剂，如 $TiO_2$、$MnO$、$Cr_2O_3$、$CuO$、$CoO$ 等。一般黑釉器的 $Fe_2O_3$ 含量为5%～6%，宋吉州永和窑的最低，仅2.97%，浙江武义北宋黑釉的最高，达9.54%。油滴釉化学成分的特点是：（1）$P_2O_5$ 含量较低，常为0.15%～0.25%，多数黑釉的 $P_2O_5$ 含量为1%～2%。临汾油滴釉片（4碗号样）的 $P_2O_5$ 含量不曾分析。（2）MnO 亦较低，说明其未曾使用草木灰制釉。有关研究认为，油滴釉烧造难度较大，温度必须控制在1200℃～1240℃间，釉中 $Fe_2O_3$ 含量以5%～7%为宜，釉料高温粘度须较大，釉层须较厚[36][53]。

兔毫釉。主要特征是黑釉上透出黄棕色、铁锈色的兔毫状流纹；在显微镜下，兔毫状流纹呈鱼鳞状结构；四川、山西、福建等地在宋代都曾烧造。最负盛名的品种是福建建阳窑的兔毫盏，有学者分析过一件北宋建阳盏的兔毫釉（表6－3－2），成分为：$SiO_2$ 58.66%、$Al_2O_3$ 20.59%、$Fe_2O_3$ 3.22%、$TiO_2$ 0.69%、CaO 6.85%、MgO 1.92%、$K_2O$ 3.72%、$Na_2O$ 0.24%、FeO 2.47%、MnO 0.82%、$Cr_2O_3$ 0.01%、CuO 0.02%[53]。可见其具有宋代黑釉的一般特点。有关研究认为，建阳兔毫还有两个自身的特点：（1）$P_2O_5$ 和 MnO 都较高，故它可能是由含 $Fe_2O_3$ 较高的釉加草木灰配成的。（2）其 $SiO_2/Al_2O_3$ 比在黑釉中最低，上述试样的仅为2.85。建阳兔毫的形成机理约有两种不同解释，其中一种认为它可能与"液—液"相的分离有关，分离出来的液相小滴在釉面聚集并析出1～2微米厚的氧化铁晶体薄膜，烧还原性气氛时，薄膜中的 $Fe_3O_4$ 含量较高，就形成银兔毫；烧氧化性气氛时，薄膜中 $Fe_2O_3$ 含量较高，就形成黄兔毫[54][55]。

6. 片纹釉

基本特征是釉面上呈现大小不一、深浅不同的龟裂纹。其出现年代较早，初始是偶然出现的缺陷，宋代才巧妙地把它转变成了一种装饰，在传世哥窑、南宋官窑釉以及龙泉黑胎青瓷釉等上都可看到。具体形态和名称又不尽相同，大家较为熟悉的有冰片纹、鱼子纹、鹰爪纹，以及百圾碎纹等。

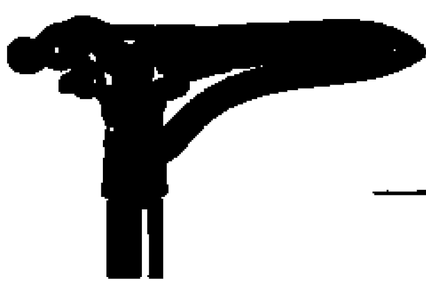
大量研究表明，釉面纹片原是胎釉膨胀系数不一造成的，因釉的强度低于胎，冷却过程中会因应力不同而绽裂。同时，宋后青釉往往多次施加，虽成分相同，但釉层较厚，各层间因内外温差也会引起釉层开裂。裂纹的数量和走向往往与釉层显微结构有关。唯胎釉膨胀系数十分接近，釉层冷却速度又十分均匀时，方可避免裂纹发生。总的来看，纹片之产生与釉的配方、釉料颗粒度和混合时的均匀度、釉层厚度、烧成温度、冷却速度等一系列工艺因素都有一定关系[24][26][27]。

（五）彩瓷技术的发展

1. 釉下彩

釉下彩始见于三国、西晋时期，宋后又有了较大发展，其中最值得注意的是磁州窑的白釉釉下黑彩和浙江窑的釉下青花。

磁州窑除了烧造白釉器和黑釉器外，还生产了不少釉下彩瓷和釉下彩刻花瓷。其釉下彩瓷主要有：白釉绿彩、白釉褐彩、白釉釉下黑彩、白釉釉下酱彩、白釉釉下黑彩刻花、白釉釉下酱彩刻花、绿釉釉下黑彩，以及低温铅釉三彩等。白釉釉下黑彩是磁州窑瓷系的主要装饰方法，白釉釉下黑彩刻划花则是磁州窑器的高档产品。后者的制作方法是：先在坯件上敷一层洁白的化妆土，后用黑色细料绘





画，再用尖状器在黑色图案上刻划出轮廓线和花瓣叶脉，将黑彩刻划掉后，便会露出白色化妆土来；表面施以薄而透明的釉料，再入窑烧制。黑白相映，产生强烈的比照。

宋代的釉下青花较唐代又有了进步，主要表现是其产地已由唐代的洛阳巩县一带扩展到了今浙江等处。1957 年，浙江龙泉县金沙塔塔基下出土 13 件青花瓷片，经复原，为 3 个碗的口腹部残片。塔砖上模印着“太平兴国二年”（977 年）的纪年文字。1970 年，浙江绍兴环翠塔基下出土青花瓷碗残片 1 件，瓷胎细腻洁白，烧结，不吸水，外壁绘有青花。塔基下发现过一块古石碑，其上刻有“岁次咸淳乙丑六月念八日”等28 字[56]。陈尧成等对金沙塔下的两件青花瓷片进行了科学分析，一件胎质粗糙，但色白、烧结、不吸水，青花色偏于深蓝，色调不太美观；另一件胎质白中泛灰，烧结，釉色光亮而略带青灰色，青花绘于内壁，其色暗蓝。用叠烧法烧成，烧成温度约为1270±20℃，气孔率2.08%，吸水率0.95%。瓷器略呈生烧，胎中残留石英较多，有融熔边，颗粒一般为 80 微米，大的达 200 微米。莫莱石晶体生长较好，长约 15 微米。釉中残留石英亦较多，颗粒一般为 60 微米，说明其原料均未经过精选淘洗，胎、釉质量都较差。经计算，此两件青花瓷所用青料的 MnO/CoO 比分别为 10.58、11.4（表 6－3－4）。可见此两件青花瓷片的锰钴比较为接近，而浙江江山县生青料的 MnO/CoO 为 11.03，故不能排除它们采用同一青花料着色的可能性，而且其原料很可能是浙江钴土原矿。又，金沙塔青花瓷胎与宋代龙泉地区所产青瓷胎的化学成分比较接近，且与龙泉县石层、毛家山、沅底和木岱口地区的瓷石组成也相近，这也说明金沙青花瓷是北宋浙江生产的[57]。

**表 6－3－4　　浙江北宋青花瓷胎釉成分**

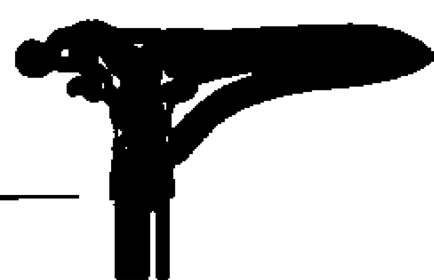
| 编号 | 分析内容 | 氧化物含量 Wt% | | | | | | | | | $Fe_2O_3$/CoO | MnO/CoO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CoO | MnO | | |
| S－1 | 釉 | | | 1.25 | 11.6 | 0.32 | 3.49 | 0.63 | 0.01 | 0.16 | | |
| | 青花＋釉 | | | 1.19 | 9.34 | 0.38 | 2.94 | 0.55 | 0.24 | 2.54 | 4.96 | 10.58 |
| S－2 | 釉 | 69.65 | 16.13 | 1.27 | 7.68 | 0.54 | 4.4 | 0.61 | <0.01 | 0.08 | | |
| | 青花＋釉 | | | 1.23 | 7.25 | 0.6 | 3.99 | 0.56 | 0.1 | 1.14 | 12.3 | 11.4 |
| | 胎 | 74.07 | 18.24 | 1.62 | 0.2 | 0.11 | 4.87 | 0.67 | | 0.03 | | |

注：标本“S－2”之胎尚含 $TiO_2$0.01%。采自文献[57]

2. 釉上彩

严格说来，釉上彩可区分为高温型和低温型两种。高温釉上彩是一次烧成的，东晋、唐代都有使用，但人们常说的釉上彩却主要指低温型，它是在已经烧成的瓷器的釉面上，用彩料绘画作装饰的瓷器。其属两次烧成，先在高温下烧成瓷器，后作彩绘，然后在稍低的温度下烘烤，谓之彩烧。它是在传统低温釉基础上发展起来的，见于宋北方诸窑，尤其是磁州窑。磁州窑低温釉上彩计有两种类型：（1）低温三彩釉陶。这是唐三彩的继续，观台窑出土较多。（2）白釉釉上红绿彩瓷。两者之中又以后者最为珍贵，1972 年和 1989 年，邯郸峰峰矿区先后两批计出 10 余件[58]，国外一些博物馆也有收藏[59]。

红绿彩是一种低温釉上彩，工艺要点是：先烧造高温白釉或白釉釉下黑彩，



再在白釉上，以红、绿、黄等彩勾画或填涂出纹饰，再第二次入窑低温烧成。有学者又谓之"宋加彩"、"金加彩"。与唐宋三彩器的区别是：（1）"三彩"是以黄、绿为主的；"红绿彩"则增加了红彩，且以之为主。（2）红绿彩瓷是在已烧成的白釉瓷上加彩，表面常以白釉为主，或白釉占有相当大的比例；三彩则常在素烧的坯体上遍涂黄绿彩。红绿彩瓷约产生于金代中后期，一直延续到了明代初年[59]。

（六）施釉技术上的进步

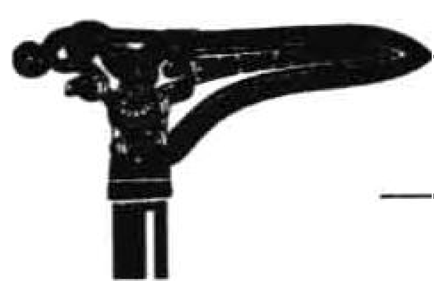
宋前瓷釉一般较薄，施釉次数也较少。宋人为增加釉面的玉质感，逐渐将之加厚，与此相应，施釉次数也明显增多；官窑青瓷釉层有时比胎还厚。从实物考察来看，宋、元、明的龙泉青瓷都是先烧素胎，然后施釉的，常施 3～5 次；南宋官窑青瓷釉常施 4～5 次。北方青瓷也是先素烧，然后施釉的，或施一次，或施多次。厚度对釉的色调和气泡存在状态都有明显的影响。釉层厚度增加、多次施涂，是我国古代窑工长期实践、探索的结果。若将厚釉一次施上，势必造成流釉、缩釉或者剥脱等现象。此期的施釉方法仍主要是蘸釉和荡釉两种[24][26][27]。

宋代瓷釉技术取得了多项十分重要的成就。人们通过改变釉料成分、增加釉层厚度、控制烧成温度和气氛，利用二液分相和气泡的光学效应，利用胎釉膨胀系数之差别，创造了多种不同的瓷釉，从而大大提高了瓷器的艺术效果。宋人是重釉而不重胎的，甚至官、哥、汝、钧、建等名窑也是如此；黑瓷胎内常见有大量砂粒等，有的官、哥瓷黑灰胎甚至混料不匀；有的瓷胎甚至不曾完全瓷化，前云粉青釉的胎质就呈现不同程度的生烧。但宋代瓷胎含铁量一般较低，龙泉窑、德化窑、景德镇影青瓷等皆是如此，甚至达到了现代瓷的水平。

**四、筑窑技术的重大进步**

此期的瓷窑发现较多，窑的种类也有了变化，有半倒焰窑、通室龙窑、分室龙窑、葫芦窑等种。半倒焰窑依然主要是圆形、椭圆形、长方形等；北方仍以半倒焰的馒头窑为主，南方以龙窑为主，也有馒头窑。此期筑窑技术的主要成就是：（1）新出现了分室龙窑、葫芦窑。（2）馒头窑的窑室平面形态更趋合理，有的窑室较为高大；龙窑更长更大，结构亦更合理。葫芦窑呈长形束腰式，始见于福建南安[60]，窑全长 7.0 米，椭圆形部分最宽处为 1.5 米；束腰部分宽 0.5 米左右，实际上是火焰通道。断代为宋。

半倒焰式馒头窑在四川彭县瓷峰南宋中晚期窑址[7]，山东临川金、元窑址[61]，赤峰缸瓦窑金代窑址[62]，以及河南禹县的钧窑及汝窑窑址[63]、河北磁州观台窑址[64]等处都可看到。瓷峰计发现两座窑基，一座保存较好，基本结构亦是窑门、火膛、窑床、烟囱四个部分。有两点值得注意的是：（1）其窑床较大，长 3.6～4.64 米；全窑长 8.32 米，宽 5.76 米。（2）窑门内口排列着三组重叠的匣钵，钵上压着整齐的三层砖块，大约可起到挡风和观火两种作用，窑门外两壁用石条砌成挡风墙。赤峰缸瓦窑金代瓷窑窑室长达 5～6 米，宽近 4 米[62]。河北磁州观台窑址的 Y3、Y8 都较高大，Y3 为马蹄形馒头窑，窑床长 230 厘米，宽 354 厘米，窑床残高 180 厘米，从内收的弧度分析，窑床距窑顶最高处约达 300 厘米；Y8 面积更大，空床长 273 厘米、宽 564 厘米，高可能达 350 厘米。断代北宋晚期至金、元





时期[64][65]。

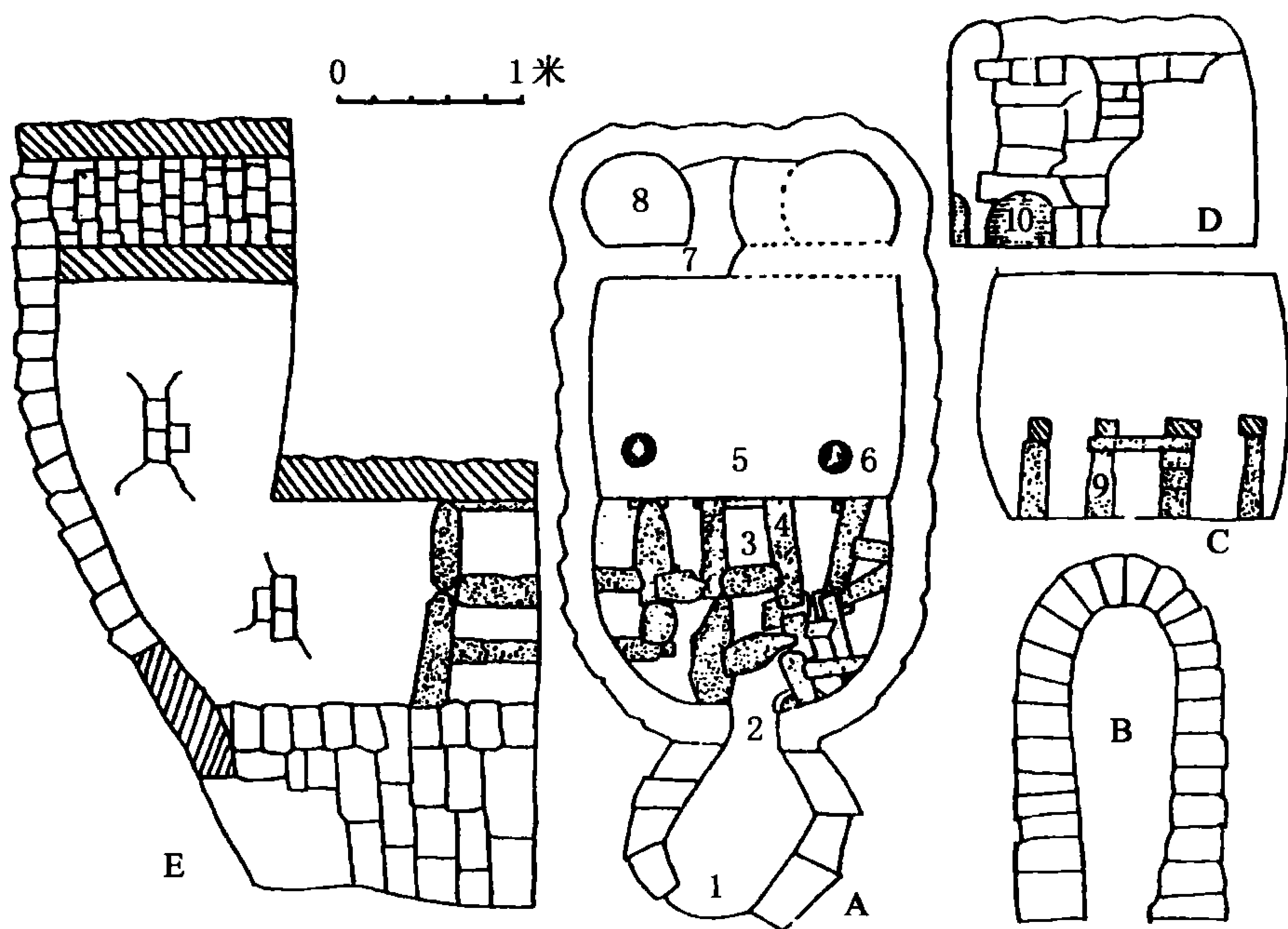
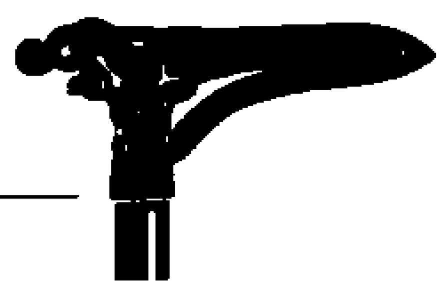



**图 6-3-3　重庆涂山窑系小湾 1 号窑结构示意图**

A. Y1 平面示意图　B. 窑门结构　C. 火膛后壁　D. 烟囱隔墙　E. 窑炉纵剖面图
1. 烧火工作坑　2. 窑门　3. 火膛　4、9. 石炉栅　5. 窑床　6. 匣钵
7. 烟窗隔墙　8. 烟窗　10. 烟孔　采自文献[3]第 440 页

重庆宋代涂山窑系的小湾瓷窑为 1985～1988 年发掘，计为 3 座，皆以石筑成，以煤做燃料；不但保存较好，且结构亦较复杂。其中 Y1 平面呈马蹄形，由砂岩条石和不规则的石块砌成；可分为烧火工作坑、窑门、火膛、窑膛、烟囱等部分。火膛内设有炉栅，由不规则的条石搭成。炉栅高于地面 58～70 厘米，前高后低；栅距较大，但其为活动结构，可随时调整。窑膛呈长方形，净宽 186 厘米、净长 125 厘米，前高后低（相差 10 厘米）。膛底垫有黄沙，两壁涂有 1～2 厘米厚的耐火泥。有烟囱 2 个。窑膛前高后低，有利于火焰均匀分布；炉栅较高，有利于煤块燃烧（图 6-3-3）。Y2 系就地深挖，以不规则的石条石块砌造而成，平面呈马蹄形，全长 3.2 米、净宽 1.7 米，残存窑门、火膛、窑膛、烟囱 4 部分。火膛内壁涂有烧结的泥衬。窑膛净宽 1.7 米，净深 1.2 米；窑底前高后低（相差 10 厘米），窑底铺有 5～10 厘米的黄砂层。烟囱 2 个置于窑后，残高 1.2 米。其中 Y1、Y2 当属南宋或稍早；Y3 结构更为繁杂，约属宋末元初[3]。

此外还值得一提的是：（1）杭州修内司窑（老虎洞窑）发现过 2 座用做低温烘烤坯件的素烧窑，形制基本相同，平面呈马蹄形。其中一座通长 1.8 米、最宽处 1.2 米，火膛为半圆形。在窑的左右及后面见有大量素烧坯堆积[17][18]。（2）1998 年，河北井陉窑的河东坡窑区发掘出 7 座古代窑炉，其中 3 座，即 Y7（晚唐）、



Y2（晚唐到五代）、Y3（金代）保存较好。其中井陉金代窑炉结构较为特殊：（1）其由灰室和窑床组成，无单独的火膛，窑床和灰室中的灰烬完全相同，故其燃料当是直接放到窑床上燃烧的。（2）没有专门的烟囱，燃烧产物由顶部逸出。（3）窑炉较小，内径只有1.5米。以木柴和煤为燃料。据发掘者推测它很可能是专门烧制釉料的[32]。

宋代名窑甚多，筑窑技术亦有一定进步。窑室平面向更为规整的马蹄形、椭圆形和圆形发展；窑室小者仍为6～10平方米，大者增至20平方米，窑床至窑顶的高度可达3米。窑室空间增高增大，这大约与用煤作燃料，用匣钵装烧，以及整个筑窑技术的提高都有一定关系[65]。

我国古代是否有过倒焰式陶瓷窑，长期未能定论。有学者说山东淄博磁村北宋窑址发现过多座"全倒焰的圆窑"，其排烟孔设在靠近窑底的侧墙上，在窑底上用垫柱和砖块砌成临时吸孔和支烟道，可令火焰自窑顶全部倒向窑底[66]。自然，此吸火口设于窑底，对改善火焰流向，及其分布状态是很有帮助的；但我们认为，它并未达到全倒焰的状态，依然是半倒焰窑。从窑炉热工原理看，倒焰窑结构的技术要点是：燃烧室与加热室间应有一道挡火墙，使火门底部稍高于或平于被加热工件的上表面；吸火口设于窑底。由于烟囱抽力的作用，高温火焰流离开火膛后，先窜上窑顶，之后再由窑顶全部倒扑下来，流经坯体，再经窑底吸火孔进入烟道、烟囱。倒烟窑的优点是：温度分布更为均匀，可避免部分产品过烧、欠烧，热利用率亦更高。显然，磁村北宋窑的燃烧室与加热室间并无挡火墙，高温火焰流进入加热室后依然会分成两股，一股拔到了窑顶，另一股则横向穿过窑室，吹向坯件侧面，之后进入窑底吸火口，故依然属于半倒焰窑。但可肯定的一点是，因其吸火口置于窑底，故高温火焰流分布更为均匀，较一般半倒焰窑更为进步。

宋代龙窑在浙江龙泉、杭州、慈溪，广西北流、永福、藤县、桂平，江西赣州，福建三明，湖北湖泗等处都有发现。基本特点是：（1）长度、宽度、高度都较大，坡度更趋适中。（2）窑壁皆用废旧匣钵、砖、粘土混合砌造。如龙泉宋代龙窑长一般为50米以上，最长达80米；窑室通常是前窄后宽，前段宽1.4～1.6米，中段宽1.85～2.2米，后段宽2.0～2.3米，个别窑达2.8米；坡度通常为11～16度，个别达22度；但其窑室坡度设计有些欠佳，它经常是前缓后陡[67]。南宋越窑系的龙窑近年才有发现，1998年，慈溪市寺龙口窑址发现一座，斜长50米，宽约2米，残高30厘米，坡度12度；见有窑门11个[68]。今见较长的宋代龙窑是广西北流岭峒窑，达108米，窑身弯曲沿坡向上延伸，两边设有投柴口，窑床宽2.0～2.3米，最宽处达3米[69]。1989～1992年，福建建窑出土10座古代窑址，其中7座属宋代，7座中有2座长达百余米，其余均在80米以上[70]。故宋代龙窑装烧量较大。建阳芦花坪一座龙窑，长56.1米，装烧瓷器估计可达30 000件以上[33]。1989年，湖北青山窑发掘了2座龙窑，残长分别为39.5米、40.3米，构筑方式上很有一些特点：（1）很大一部分窑身坡地为人工填筑。其先在台地上修建较小的龙窑，并进行生产，之后，将生产过程中各种遗弃物填于窑尾后部，当填至一定高度和宽度后，再扩建窑身。（2）窑室由红砖、废旧匣钵交替、错缝砌成，排列规整、对称。顶部用楔形砖券砌。既坚固，又美观。（3）窑墙外侧用废





旧匣钵堆砌一道护墙，两墙间用土填实。（4）窑尾有一长方形蓄烟室。断代五代至北宋晚期[71]。

为解决窑室坡度过大而引起的抽力过大，火焰流速过快的问题，宋代龙窑采用了三个办法[67-72]：（1）在山势平缓处，将窑身建成曲折形、“之”字形。宋代之前，龙窑基本上都是笔直的。（2）无规则地分级，即将整个窑身分成坡度不同的2级或2级以上。龙泉的做法是：用单砖错缝平铺三四层，使坡度减缓[67]。藤县清理了两座宋代龙窑，窑床皆分为二级。1号窑残长51.6米，前级坡度为15度，后级为20度，两级落差为40厘米。2号窑残长51米，前级长22米，倾斜5度；后级长27米，倾斜19度；两级落差为40厘米，窑床宽约3～3.3米。2号窑尾部且设有挡火墙，结构较1号窑更为完善[9]。（3）分室，即在窑身内加设多道隔墙，隔墙到顶，下部常留有六七个通火孔，梅县瑶上区宋代龙窑隔墙多至10个。这些隔墙将整个窑身分隔成若干个较小的窑室，每个小室都具有半倒焰窑的性质。这在广西永福[10]、广东梅县[73]等地都可看到。隔墙一方面可改善火焰分布状态、调节火焰流速；另一方面可减少高温火焰流对产品的直接烧烤，减少坯件烧结、粘连和变形。这种分室龙窑，兼具了龙窑和半倒焰窑的一些特点，其火焰流形态与通室龙窑已有不少差别，且再不能用平焰来表述。图6-3-4为分室龙窑火焰流向示意图。

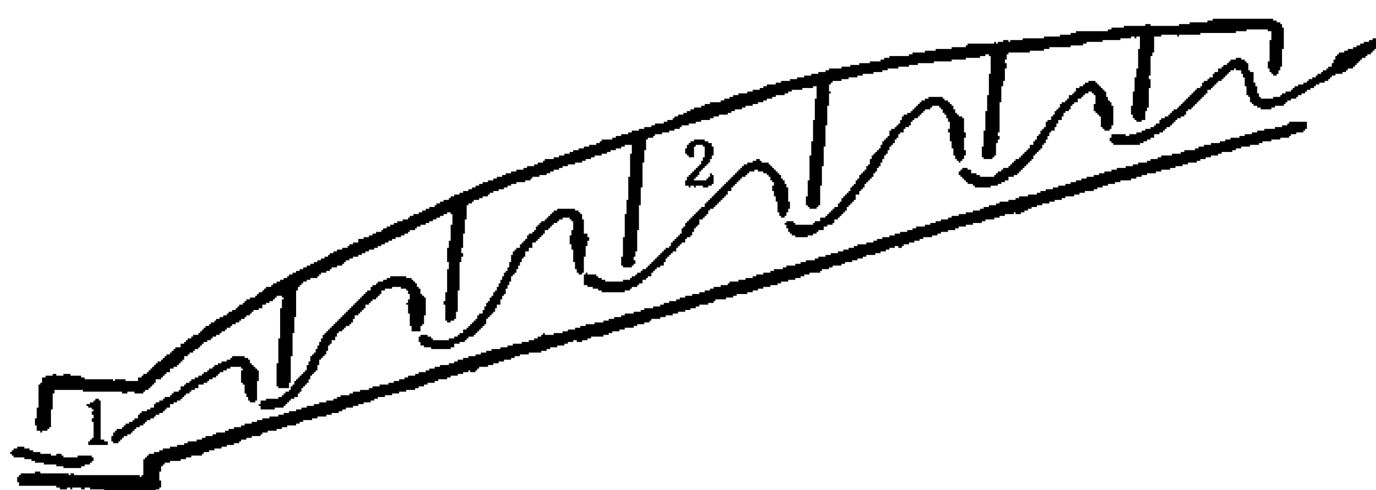



**图6-3-4 分室龙窑火焰流向示意图**

1. 火膛　2. 窑室

采自文献[66]

束腰式葫芦窑实际上是在龙窑和馒头窑的基础上发展过来的，宋代使用较少，元代部分再作介绍。

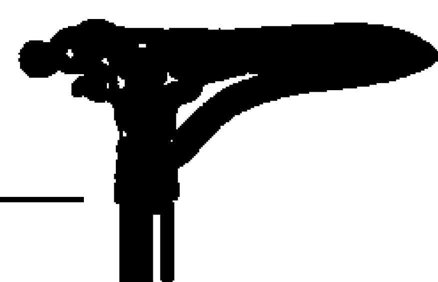
**五、装烧技术的主要成就**

两宋时期，装烧技术的主要成就是：（1）匣钵和火照在我国南北都更为普遍地使用起来。匣钵在赤峰缸瓦窑、浙江武义宋元瓷窑[74]、福建建窑、四川彭县瓷峰窑、重庆涂山窑、湖北湖泗窑、广西永福窑和藤县窑等遗址都有出土，匣体多为漏斗形、筒形、无底直筒形等。（2）北方有更多的炉窑用煤作燃料。此两项技术的推广，为提高装烧量和改善产品质量创造了良好的条件。

明火单烧和明火叠烧此期仍在使用。匣钵装烧法主要有三种，即仰烧、叠烧和覆烧。

仰烧是将坯件置于匣钵内，一器一匣，为避免匣与器之粘连，可用垫饼或石英砂间隔，再叠钵入窑。这种入匣仰烧之器内外皆釉。重庆小湾窑[3]、彭县瓷峰窑[7]、北宋早期湖田窑等皆用此法[75]。也有无匣仰烧，器口朝上，圈足无釉，相叠平放入窑的。

叠烧即一匣叠放多器，器与器之间可用瓷质托珠、环垫、垫柱、堆砂等方式隔开。间隔具可视需选用；瓷托珠垫烧的优点是装烧量较大，缺点是其常粘留碗心或足底；环垫叠烧是以石英砂为介质，优点是不易粘结，缺点是操作上较为麻烦[7]。



覆烧法即将盘、碗、碟类器皿反扣过来，装入支圈式匣钵内烧成。北宋时期，北方定窑、南方景德镇窑等都已使用；与此同时或稍晚，彭县瓷峰窑、重庆小湾窑等也已使用。但各地具体操作不尽相同，瓷峰窑是口沿悬空，支托托上碗底，圈足无釉[7]；景德镇覆烧工艺异常丰富，湖田窑常用斜壁敞口匣中之支圈来支托芒口器，器坯对准匣圈装好，之后再放入大匣钵覆烧[75][76]。覆烧法因可密排套装，故最大限度地利用了窑位空间。不足处是仍隐约可见砂粒疤痕。

除以上三种外，还有：（1）套烧，即大件套小件装烧，坯件皆口底无釉，口对口，底对底叠烧。（2）仰覆烧，与套烧相同，但器内不装小件，多用于中等器件。

宋代火照在河北、河南、湖北、四川、重庆、浙江、福建、广东等地都有发现。今已发掘的彭县瓷峰窑，至迟属南宋中晚期[7]，为白瓷“火照”，器的中部挖一圆孔，断口无釉。湖北武昌县青山瓷窑的火照以破旧瓷坯改制而成，多为梯形，也有多边形、不规则形、长方形，中挖一圆形或椭圆形孔洞[71][77]。此外，河北磁州观台北宋窑、河南汝窑、广东潮州笔架山北宋窑、福建德化窑、四川重庆涂山窑、浙江龙泉山头窑、景德镇湖田窑等都有宋代火照出土。福建建阳芦花坪窑出土黑釉瓷照子7件[33]。清蓝浦《景德镇陶录》卷四“陶务方略”亦云：“本烧户亦有自制火照之法。盖坯器入窑，火候生熟究不可定，因取破坯一大片，中挖一圆孔，置窑眼内，用钩探试生熟。若坯片孔内皆熟，则窑渐陶成，然后可歇火。”对火照的形制、功用都说得甚为明白。

宋代窑炉已大量用煤做燃料，为宋前所不及。据统计，曾用煤作燃料的宋、辽、金窑址约近20个[78]，如河北曲阳定窑、邯郸观台窑、河南鹤壁窑、钧窑、陕西耀州窑、玉华窑、安仁窑、山东磁村窑、北京龙泉务窑、四川彭县瓷峰窑、重庆涂山窑、巴县鸡窝窑、广元瓷铺窑、安徽肖县白土窑、辽宁抚顺大官屯窑、赤峰缸瓦窑等。磁州观台窑用煤烧瓷之事约始于北宋晚期，此期窑床的前部挡火墙和火膛周壁不但被煤火烧流并粘有煤渣，部分窑的进风口底部和窑旁还保存有尚未燃烧的煤[79]。以煤烧瓷，对节省木柴资源，保证窑温，提高瓷器的产量和质量，都具有重要的意义。

从大量分析资料看[26][27]，浙江地区五代以前的青瓷烧造温度为1220℃～1270℃；宋代以后的龙泉青瓷为1230℃～1300℃，官窑青瓷为1170℃～1220℃，汝官窑为1150℃～1200℃，临汝窑为1270℃左右，钧窑青瓷为1240℃～1270℃，耀州窑青瓷为1300℃左右。影响青釉色调的因素较多，铁、钛等着色元素的含量，$SiO_2/Al_2O_3$比，$CaO/K_2O$比，烧成温度和气氛，釉层厚度及熔融状态等都有一定的影响。人们常用还原度，即$Fe^{2+}/Fe^{3+}$的比值来标示气氛，当$Fe^{2+}/Fe^{3+}$小于0.3时，便逐渐由还原性转变成了氧化性气氛。但值得注意的是，烧成温度、助熔剂种类和数量等，也会影响到这一比值，烧成温度较高时，$Fe_2O_3$易于分解成$FeO$[24][26][27]，这在Fe－O－C系气相平衡图中也可看到。

## 第四节　丝织重心的南移

由于政治方面的诸多原因，自有文字记载以来，我国社会的经济、技术重心，

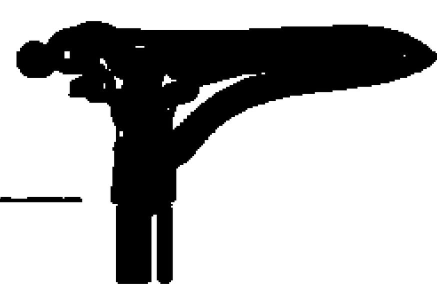
由北向南至少发生了三次较大的迁移：第一次是魏晋南北朝时期，第二次是安史之乱时期，第三次便是宋代。每迁移一次，南方的经济、技术都得到一次加强和提高。相应地，北方则受到了一次削弱。三次迁移之后，关中、洛阳这两个古老的文化中心，再也雄风难振。早在北宋时期，南方丝织品的产量、质量便已远远地超过了北方。据《宋会要辑稿》卷六四载，乾德五年（967 年）之后，东南诸路及今四川一带上贡国家的丝织品已达全国上贡总数的 3/4，其中两浙路①竟占了总数的 1/3，北方诸路才占总数的 1/4。宋室南迁，一些官、商巨头，文人、手工业者也随之南迁，使南方手工业技术、经济、文化得到了进一步发展，随之对丝织品的需求量大增，从而也促进了南方蚕桑业的发展。

两宋的纺织手工业都相当发达，纺织品的产量、质量、花色、品种，都较前有了提高和扩展。宋廷少府监下设有绫锦院、裁造院、内染院、文绣院等纺织品生产和管理的机构；朝廷在开封、洛阳、润州（今镇江）、梓州（四川三台）等地设有规模宏大的绫锦院、绣局、锦院等工场，在成都还设有转运司、茶马司锦院，其中成都锦院是规模较大、工匠较多、管理较为严格的一个。《宋会要辑稿》“职官”二九之八“绫锦院”云:“绫锦院在昭庆。乾德四年（966 年）以平蜀所得锦工二百人，置内绫院。太平兴国二年（977 年）分东西二院，端拱元年（988 年）合为一，以诸朝官诸司使副内侍三人，监领兵匠千三十四人。”元费著《蜀锦谱》载:“元丰六年，吕汲公大防始建锦院于府治之东，募军匠五百人织造，置官以涖之，创楼于前以为积藏待发之所……设机百五十四，日用挽综之工百六十四，用杼之工五十四，练染之工十一，纺绎之工百一十而后足。役岁费丝，权以两者一十二万五千；红蓝紫茢之类，以斤者二十一万一千而后足，用织室吏舍、出纳之府，为屋百一十七间而后足居。自今考之，当时所织之绵（锦），其别有四：曰上贡锦、曰告锦、曰臣僚袄子锦、曰广西锦，总为六百九十疋。”这里谈到了北宋蜀锦院的一些情况。“而渡江以后，外攘之务十倍，承平建炎三年都大茶马司始织造绵（锦）绫被褥。”[1]

宋代中原地区的大众衣料仍以麻织品为主，西北地区和闽广一带，北宋时期的棉织业已相当发达，但不管江南还是中原，以棉代麻的过程，大约都是南宋末才开始，并在元代逐渐完成的。

在考古发掘中，我国南北都出土过不少这一时期的纺织品，尤其南方。湖南衡阳一座北宋晚期石椁墓出土大量丝麻衣物，织物品种计有麻布、素纱、花纱、素罗、绢、本色花绫等；花纱、花罗、花绫的纹样装饰有大、小两种提花织物[2]。1966 年浙江兰溪出土有南宋纯棉毯子，以及丝织的单衣、夹衣[3]。福州淳祐三年（1243 年）黄昇墓出土大量丝织品，成件和不成件的计达 334 件，其中有长花袍 9 件、短衣 55 件（长袍、短衣，均有单、夹之分）、裤 23 件、裙子 20 件、鞋 6 双、袜 16 双、被衾 5 条，以及 100 多件成幅、不成幅的料子和部分下脚料。料子最长的达 11.04 米，多为罗、绢，少数为纱、绫、绉纱；一件最长的料子上墨书“宗

① 唐肃宗时，把江南东道分置浙江东、西两路，钱塘江以南叫浙东，以北叫浙西。宋置两浙路，有今江苏长江以南及浙江全境。



正纺染金丝绢官记”字样[4]。江苏金坛南宋末年周瑀墓出土一具完好的尸体，其上衣物保存完好，伴出的还有一轴绢本牒文[5]。黑龙江省阿城巨源金代齐国王墓出土丝织品30余件，主要是男女服饰，有袍、衫、裤、裙、腰带、鞋、袜、冠帽等，织物品种有绢、罗、锦、绫、纱等，并有印金、描金等技法。织物组织致密，经纬线密度较大，丝质甚佳，工艺精湛，有相当大一部分为加金织物[6]。

此期纺织技术的主要成就，在原料方面是：有了嫁接桑树的记载，南方推广了四眠蚕；棉植业在闽广地区已较发展；在缫纺技术方面，缫车机械有了较为明确的记载，发明了脚踏缫车，发明了水力大纺车；在织造技术方面，罗机子技术、提花技术都已发展到相当完善的程度，出现了宽幅重型棉织机，出现了缎组织，使三原组织得以最后形成；纬锦完全取代了经锦的主导地位；艺术织物，罗、锦、缂丝都发展到了更高的阶段；颜料印花更为完善。

**一、原料栽培和初加工技术的发展**

（一）桑树嫁接技术的产生和发展

两宋朝廷都比较重视蚕桑业，并一再颁布奖励蚕桑的诏令。宋太祖建隆三年（962年），“命官分诣诸道中劝课桑之令”[7]。南宋孝宗乾道六年（1170年）三月，“诏谕大臣均役法，严限田，抑游手，务农桑”[7]。两宋时期，蚕桑技术上也取得了不少进步，其中比较值得注意的有如下几项。

桑树嫁接始见于文献记载。我国古代果木嫁接术发明较早，也很早就取得了较高成就，《尔雅》和《齐民要术》等著作都有说明。但关于桑树嫁接之事却是到了宋代才见于记载的，宋陈旉（1075～？年）《农书》卷下载：“若欲接缚，即别取好桑直上生条，不用横垂生者。三四寸长截，如接果子样接之。其叶倍好，然亦易衰，不可不知也。湖中安吉人皆能。”[8]此书成于南宋绍兴十九年（1149年），陈旉时年七十有四。金《士农必用》还谈到了荆桑根株嫁接鲁桑条的经验，说：“接缚之妙（原注：荆桑根株，接鲁桑条也），惟在时之和融，手之审密，封系之固，拥包之厚（凡缚接皆同，此最为要诀），使不致疎浅而寒凝也”[9]。至于这两种桑树的不同特点，明邝璠《便民图纂》卷四曾有说明：“荆桑根固而心实，能久远；鲁桑根不固而心不实，不能久远。荆桑以鲁条接之，则久远而茂盛”。

（二）养蚕技术的发展

南方育成并推广了四眠蚕。王安石《荆川裨编》云：“北蚕多是三眠，南蚕俱是四眠。”三眠蚕的优点是抗病能力较强，较易饲养；四眠蚕的优点是体态肥大，茧质较优。故四眠蚕的育成和推广，是养蚕技术上的一大进步。

从有关记载看，宋代北方主要饲养一化性蚕，南方亦以一化性为主，虽有少量二化性蚕，但丝质欠佳。陈旉《农书》卷下“收蚕种之法篇”云：“又有一种原蚕，谓之两生……切不可育，既损坏叶条，且狼藉作践，其丝且不耐衣著，所损多而为利少。”二化性蚕虽发明于汉，但推广得十分的缓慢；二化性以及多化性蚕大约都是明代之后才逐渐推广开来的。

此期有关盐腌杀蛹法的记载较为详细。秦观《蚕书》云：“凡浥茧，列埋大瓮地上，瓮中先铺竹箦。次以大桐叶覆之，乃铺茧一重。以十斤为率，掺盐二两，上又以桐叶平铺，如此重重隔之，以至满瓮。然后密盖，以泥封之，七日之后，

出而缫之，频频换水，即丝明快。盖为茧多不及缫取，即以盐藏之，蛾乃不出，其丝柔韧，润泽，又得匀细。"[10]秦观（1049～1100年），北宋扬州高邮人，曾任太学博士，迁秘书省正字兼国史院编修官。南宋陈旉《农书》卷下"簇箔藏茧之法篇第五"所载，从内容到文字都基本一致。盐腌杀茧法在我国虽也出现较早，后魏《齐民要术》及其之后的许多文献都曾提及，但所述无此详明。

（三）缫丝技术的发展

这主要表现在三方面：一是有了关于手摇缫车机构的详细记载；二是发明了脚踏缫车；三是对缫丝水温的控制积累了丰富的经验。

我国古代的手工缫丝发明较早，并在汉代便已推广，约唐代还在沿用[11]，但文献上较为明确的记载却是到了宋代，在秦观《蚕书》中才看到。由《蚕书》可知，缫车大体由机架、钱眼、锁星（又叫鏁星）、鼓、丝钩、丝軖等机件组成。钱眼、鏁星皆缫车的集绪部分；添梯、鼓、丝钩、丝軖，则是缫车的卷丝部分。依《蚕书》所云，手工缫车的基本操作是："系自鼎道钱眼升于鏁（一作锁）星。星应车动，以过添梯，乃至于车"。即丝从缫丝锅通过集绪的"钱"，绕过导丝滑轮的锁星，再通过横动导丝杆"添梯"上的丝钩，才到丝軖上。车架是承载丝軖和其他机件的四柱形框架。钱眼的作用是合并丝线，实际上就是一个小孔，"钱眼为版，长过鼎面"。"绪总钱眼而上之"。锁星的作用是导丝和消除丝缕上的糙节；"鏁星为三芦管"，"管之转以车下直钱眼"。丝軖（秦观谓之"车"）的作用是卷绕长丝，其状"如辘轳，必活其两幅，以利脱系"。添梯，是使丝分层卷绕在丝軖上的横动导丝杆。鼓，即木质鼓状物，作用相当于今之偏心盘。丝钩的作用是导丝，位于添梯上。《蚕书》在谈到缫车部分构件的工作过程时说："车之左端置环绳。其前尺有五寸，当车床左足之上，建柄长寸有半，匼柄为鼓。鼓生其寅以受环绳。绳应车运，如环无端，鼓因以旋。鼓上为鱼，鱼半出鼓。其出之中，建柄半寸，上承添梯……其上揉竹为钩以防系。窍左端以应柄，对鼓为耳。方其穿以闲添梯。故车运以牵环绳，绳簇鼓，鼓以舞鱼，鱼振添梯，故系不过偏。"在此有一点值得注意的是，秦观所述缫车到底是以手驱动，还是以脚驱动，因记载不详而难以分辨。图6－4－1所示为清陕西兴平杨屾《豳风广义》所载手摇缫车，此书成于乾隆五年，之后献给了陕西当局[12]。

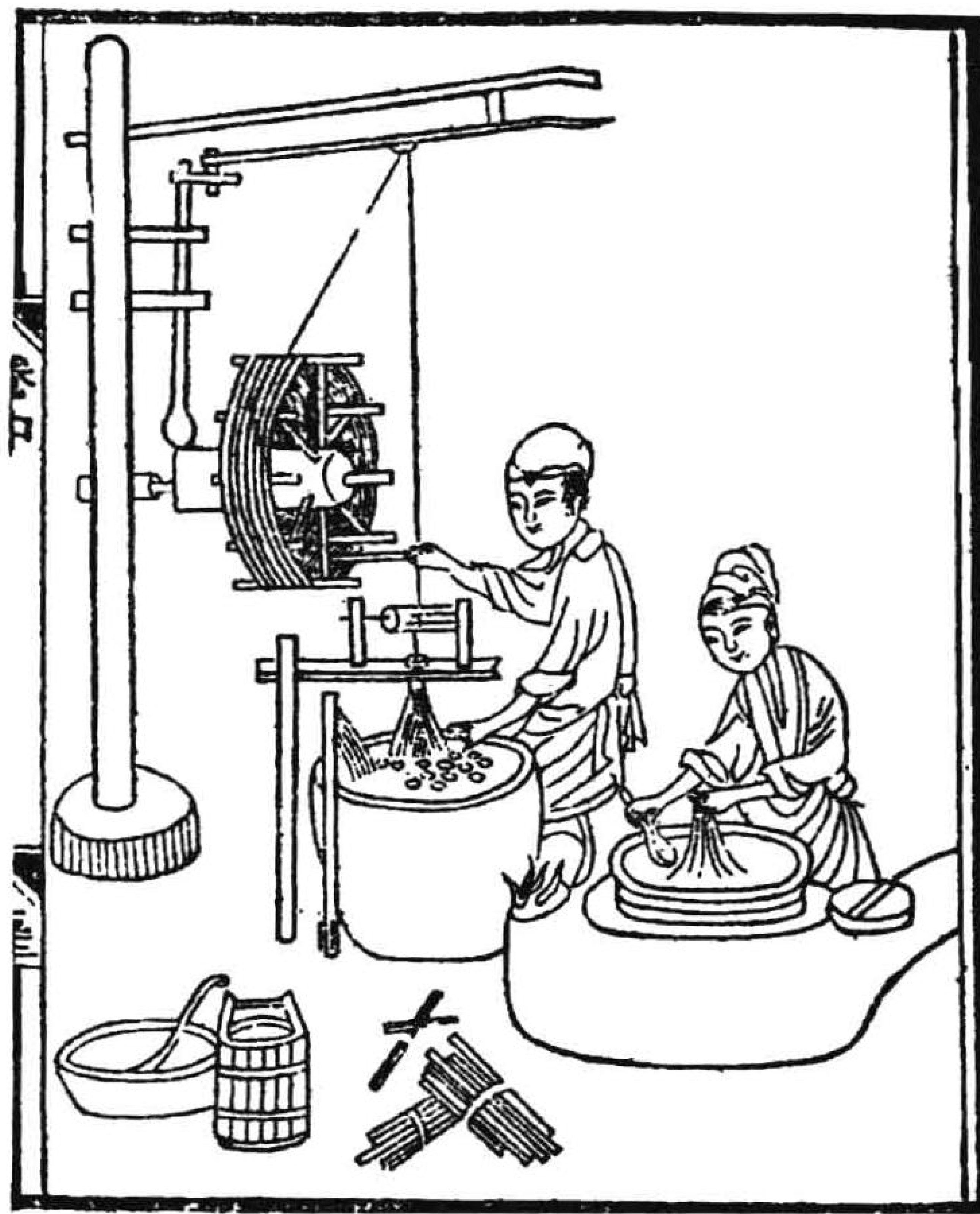


图6－4－1　清《豳风广义》所载手摇式缫水丝图

从现有资料看，关于脚踏缫车的形态是在秦观稍后的梁楷《蚕织图》中看到的[11]，其中的缫车图中便绘有脚踏缫车的形态。从图可知，脚踏缫车的基本结构



与手摇缫车相同，主要差别是将手摇缫车的曲柄改成了连杆和踏板。因手摇缫车需两人共同操作，一人投茧索绪添绪，一人手摇丝軖，一定程度上影响了生产率的提高；脚踏缫车的发明，便较大地提高了缫丝生产率。

两宋时期，人们对热盆缫丝的温度控制，已积累了相当丰富的经验，其中较值得注意的是宋秦观《蚕书》所说，须“常令煮茧之鼎汤如蟹眼”。所谓“汤如蟹眼”，是对水近沸点时的一种形象描述；此时有大量细微气泡冒出，其状有如蟹眼一般。从现代生产实践看，缫丝水温似以略低于100℃为宜，过高则丝胶溶解过多。“汤如蟹眼”时，盆的中心部约达100℃，周围则稍稍低于此数，缫丝适是相宜。

在长期生产实践中，人们还总结出了“细圆匀紧”四字操作法。元王祯《农书》卷六“农桑通诀·蚕缫篇”引《士农必用》云:“缫丝之诀，惟在细圆匀紧，使无偏慢节核粗恶不匀也。缫丝有热釜冷盆之异，然皆必有缫车丝軖，然后可用。”此四字诀直到近现代依然是适用的。

（四）西北棉植业的发展

宋、辽时期，棉花已在新疆、甘肃、陕西等地有了更多的种植。《宋史》卷四九○“外国传·回鹘”载：宋天圣二年（1024年）5月，河西走廊的甘州（今甘肃张掖）回鹘曾遣使十四人，“来贡马及黄湖绵细白氎”①。看来，西夏建国前甘肃地区很可能已生产了棉花，且生产量还不算太少。《续资治通鉴》卷九四载，宋宣和四年（1122年），金使庆裔赴宋，徽宗“赐金线袍缎，（庆裔）疑与夏国棉褐同，却而不受”。此“棉褐”可能是棉毛合制品，竟能与宋朝“金线袍缎”媲美，说明夏国棉织品已具有较高的工艺水平。另外，西夏文蒙童双语读本《番汉合时掌中珠》载有“白叠”一词[13]，这也是西夏植棉业发展的重要证据。宋史乐（930～1008年）《太平寰宇记》卷三○“关西道六·凤翔府”载:“土产：龙鬚草贡、蜡烛贡、麻布、棉布、胡桃。”[14]此书约修于太平兴国（976～984年）年间。可见北宋早期，陕西凤翔府亦已产棉。

今日所见与西夏棉织品有关的实物主要有：

内蒙古额济纳旗老高苏木出土的烟色纱绣衣方片衬里白棉布，经纬密为8～13根/厘米×12根/厘米[15]。

前苏联在圣彼得堡所藏西夏文献用纸。1966年，有关学者分析过其中的10件纸样，其原料计有3种类型，其中两种含有棉布：一种是亚麻和棉布纸浆；另一种是棉花破布纸浆[16]。可见当时棉布在西夏已使用得较为普遍。

宁夏贺兰拜寺沟方塔所出西夏文佛经《吉祥遍至口和本续》封面纸。在所出数十种西夏文献中，人们总计分析了7件纸样，其原料计有4种组合：（1）苎麻与大麻；（2）破棉布和破麻布；（3）构皮；（4）大麻和亚麻。7件标本中，有2件属棉、麻破布浆，皆为《吉祥遍至口和本续》封面，编号分别为3甲、3乙[17]。这又是一起破棉布造纸的实例，再一次说明棉布使用量已经较大。

① 《宋会要辑稿·蕃夷·回鹘》四之八：仁宗天圣二年，甘州可汗王遣使贡方物，马三疋、黄绢、细、白氎等。

（五）闽广地区棉植业的发展和江南植棉之始端

至迟北宋（960～1127年），闽广一带的棉织业已相当发达，有关记载明显增多，而且也稍见详明；棉纺在部分地方甚至取代了丝麻而占据了纺织业的主导地位。

史乐《太平寰宇记》卷一六九“岭南道·琼州”载:“土产，琼州出……苏木、密蜡、吉具（贝）布、白藤……”可见棉布在北宋早期便已是琼州土产。

北宋彭乘《续墨客挥犀》卷一载:“闽岭以南多木棉，土人竞植之，有至数千株者。采其花为布，号吉贝布。”人植木棉达数千株，说明当时闽岭以南棉花种植量之大。此“吉贝”、“白叠”，自古便是对棉花的一个称呼，其一直沿用到了清代，及至20世纪50年代①。最初大约主要是用来称呼草棉的，后来也用它称呼其他品种的棉花。

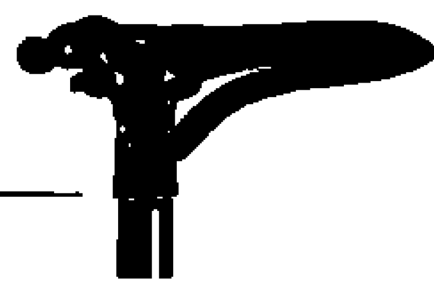
李寿《续资治通鉴长编》卷三四六载，元丰七年（1084年）陈绎知广州，其子陈彦辅曾纵容广州军人织造木棉布，从而获罪。其原文云:“彦辅坐役禁军织木棉非例，受公使库馈送及报上不实也。”此木棉能组织军人大量生产，说明当时广州棉布生产已经较广。

苏轼《格物麤谈》卷上载:“木緜子，雪水浸种耐旱，鳗鱼汁浸过不蛀。”说明当时种棉已经不少。

方勺《泊宅篇》卷中云:“闽、广多种木绵，树高七八尺，叶如柞，结实如大菱而色青，秋深即开，露白绵茸茸然。土人摘取出壳，以铁杖杆尽黑子，徐以小弓弹令纷起，然后纺绩为布，名曰吉贝。今所货木绵，特其细紧尔。当以花多为胜，横数之得一百二十花，此最上品。海南蛮人织为布，上作细字，杂花卉，尤工巧，即古所谓白叠巾也。李琮诗有‘腥味鱼中墨（原注：乌贼鱼也），衣裁木上绵。’”[18]此谈到了闽广，以及海南棉的一些情况。这里描述了棉花的外部形态、生长季节，以及棉花初加工的基本程序。此木棉深秋开花，显然指棉花。其高七八尺，约相当于今制的2.1～2.4米[19]，最上品者横数能得“一百二十花”，大体上是一种小乔木。其棉花去籽的方法是以铁杖杆（赶）之；弹花工具是一张小弓。方勺系婺州金华人，生于1066年，卒于1141年之后。此书是他的见闻笔记。

南宋（1127～1279年）时期，棉花种植仍以闽广一带为盛。周去非（1174～1189年）《岭外代答》（1178年）卷六“吉贝”载:“吉贝，木如低小桑枝，萼类芙蓉，花之心叶皆细，茸絮长半寸许，宛如柳绵，有黑子数十，南人取其茸絮，以铁筋碾去其子，即以手握茸就纺，不烦缉绩，以之为布，最为坚善。‘唐史’以为‘古贝’，又以为草属；顾‘古’、‘吉’字讹；草木物异，不知别有草生之古贝，非木生之吉贝耶……雷化廉州及南海黎峒富有，以代丝纻。”此“木棉”如小桑枝，大体上应属灌木或小乔木范围。周去非认为，岭外这种“木如低小桑枝”

① 清光绪《广州府志·舆地略》载:“土人以中春种吉贝核，五六粒一坎，以土掩之。五月即生花结子，壳内藏有三四房，烈日中开房，有棉花垂下，洁白如雪。绞去其核，纺以为布，细腻精密，精如蚕纸，又名白叠布。”这是清代末年，人们称棉花为“吉贝”、“白叠”之证。又，今人于绍杰云：1957年他到广东时，番禺农民还称自己种的中棉为吉贝。又据其友人介绍，“海南黎语称整株棉花为jibei，称絮棉为bei，是吉贝的语源。”（《中国植棉史考》，《中国农史》1993年第2期）





的吉贝，与古所谓“草属”的吉贝是不同的。

赵汝适《诸蕃志》卷下“志物·吉贝”也说过闽广产棉：“吉贝，树类小桑，萼类芙蓉，絮长半寸许，宛如鹅毳，有子数十。南人取其茸絮，以其铁筋碾去其子，即以手握茸就纺，不烦缉绩，以之为布。最坚厚谓兜绵，次曰番布，次曰木棉布，又次曰吉布。”[20]赵适（音 kuò）曾于南宋嘉定（1208～1224 年）至宝庆（1125～1227 年）间任福建路市舶提举，此书为当时所作。所述多为外国风土物产。在“志物”中一般都要说出各物的主要产地，但说到棉花时，未说具体产地，而只提到了“南人”二字，故我们推测，这很可能指闽广一带。可见，此吉贝树亦类如小桑，“木棉布”、“吉贝布”，都是吉贝树的产品。

1966 年，兰溪出土的宋代棉毯等棉制品约成于淳熙六年（1179 年）前后，有人认为它可能是从广州地区带回去的[21]，但也有人认为它可能是江南自产的[3]。

棉花技术开始大规模向中原传播的时间，今人一般认为是南宋末年至元代初年，但其开始向中原传播的时间，则是更早一些的。《资治通鉴》史炤（1091 年前后～1160 年之后）“释文”在注释“梁武帝·木緜皂帐”时说过这样一段话：“木棉，江南多有之。以春二、三月下种，既生，须一月三薅；秋生黄花、结实。及熟时，其皮四裂，其中绽出如绵，土人以铁梃碾去其核，取如棉者，以竹小弓，长尺五寸许，牵弦以弹绵。卷为筒，就车纺之，自然抽绪如缫丝状，以为布。”①史炤系眉山（属今四川）人，该书约成于 12 世纪 60 年代，即南宋早期。其中说到了棉花的生长规律，它是春天下种，秋天开花的；以及棉花初加工的情况，须经铁杖赶籽、小竹弓弹花、卷筵、纺车纺纱。其中“江南多有之”一语最值得注意，若所说无误的话，南宋早期江南便“多有”植棉了[22]。但此“多有”与“普及”还有一段相当的距离。

（六）南方苎麻业之发展

宋代南北都产麻布，又以广西苎麻布最负盛名。宋周去非《岭外代答》卷六“布”条载：“广西触处富有苎麻，触处善织布。柳布、象布，商人贸迁而闻于四方者也。静江府（桂林）古县，民间织布……及买以日用，乃复甚佳，视他布最耐久。”同卷“练子”条载：“邕州左右江溪峒，地产苎麻，洁白细薄而长，土人择其尤细长者为练子，暑衣之，轻凉离汗者也。”除广西外，浙江一带的苎布亦佳。罗濬《宝庆四明志》卷四载：“奉化绝密而轻，如蝉翼，独异他地。象山苎布最细，曰女儿布，其尤细者也。”两宋时期，大麻布的技术地位已经衰退。

**二、纺纱技术的发展**

我国古代丝麻纺车技术的发展大体上可区分为两个阶段：一是先秦到隋唐，

---

① 史炤《资治通鉴释文》关于木棉的文字，不少学者都曾引用，而未详具体出处。今查，《资治通鉴释文》通行本，即《四部丛刊初编缩本》并无这段关于木棉的记载，我今引自清陈元龙《格致镜原》（第二十五册）卷六四“草本木棉”条，其云：“史炤《释文》：‘木棉，江南多有之……’”（文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟）。雍正十二年《山西通志》卷四七“物产·蒲州府”亦有相类记载：“宋史照（炤）《释文》：‘木棉，江南多有之，春三月下种，至秋开黄花结实……’”胡三省《资治通鉴》“音注”卷一五九“木緜皂帐”条与之相同处甚多；但哪些是史炤的，哪些是胡三省的，今从“音注”中是不易分辨的。《格致镜原》和《山西通志》当有所本。

这是手摇纺车和脚踏纺车产生和发展的阶段；第二阶段是宋代之后，除继续沿用前述两种纺车外，还发展了多锭纺车，有的还使用了水力。这标志着我国古代纺纱技术已发展到了一个新的水平。

前面提到，《新编古列女传·鲁寡陶婴》图上已有三锭脚踏纺车（图6－4－2）①，此图原为晋顾恺之所绘，南宋嘉定间模刻。虽这三锭纺车的发明期尚难定论，但宋代已广泛使用是肯定了的。它的发明和推广，极大地提高了生产率，是纺车技术发展史上的重要事件。因这三锭纺车系闽人所刻，故还有学者认为，它是闽人用作纺制棉纱的[23]。



图6－4－2　宋刻《新编古列女传·鲁寡陶婴》图

脚踏纺车的功能与手摇纺车相同，但结构上有了改变。秦汉斜织机是通过绳索，把脚踏板与“马头”（杠杆）联接起来的，脚踏板的上下运动牵引着“马头”绕支点来回摆动，使综片作上下运动，形成织机的开口运动。脚踏纺车则援用和发展了这一技术原理，通过凸轮、曲柄和传动，把踏板的上下运动，转变为大轮、锭子的旋转运动，从而达到加捻、合股、纺线等目的。它不但使右手从手摇纺车中解放出来，而且生产率大为提高[24]。

关于大纺车的记载始见于元王祯《农书》中，该书约1295年之后开始撰写，1313年付梓，故有关大纺车的情况“元代部分”再作讨论。因王祯《农书》卷二二“麻苎门”说当时“中原麻布之乡皆用之”，故一般认为其发明于宋。此书开始撰写的时间距宋亡仅16年。大纺车的发明，是我国古代纺织技术的一项杰出成就。

### 三、提花技术之发展和三原组织的完成

在宋代织造技术中，尤其值得注意的是罗机子和提花技术的发展，以及三原组织的最后完成。

#### （一）罗机技术的发展

我国古代的原始纱罗早在新石器时代便已出现，及至先秦时期，罗织物便有了一定发展，之后历代都有不同程度的提高；宋元时期，各种罗织物都盛行起来。

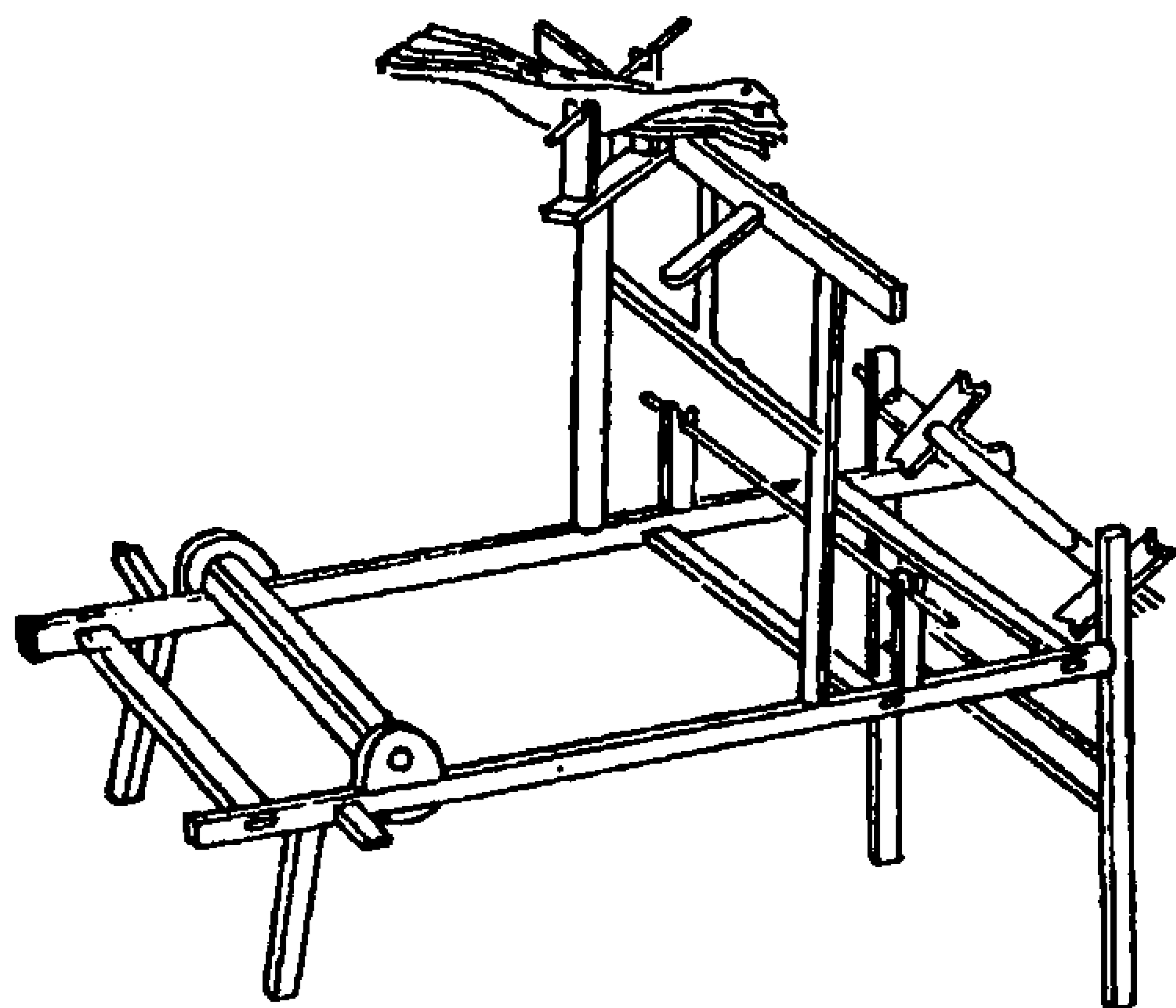
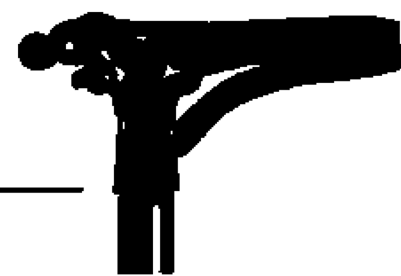


图6－4－3　《梓人遗制》中的罗机子

薛景石《梓人遗制》载，罗机子的开口主要是由乌坐木上的特木儿（吊综杆）来完成的，其一端系吊综

① 《古列女传》，汉刘向编，文渊阁《钦定四库全书》曾有收录，但无图。今图6－4－2转引自文献［24］第180～183页。





绳，连踏脚杆，另一端的鸟儿眼下吊大泛扇桩子或小泛扇桩子。“泛扇子”即综框，织素罗可以不用；织造提花罗时，需加用提花机构（束综）来控制花型（图6-4-3）[24]。该书成于元中统二年（1261年）。罗机子可以织造二经绞和三经绞的素罗，也可以织造各种提花织物。这在各地出土的南宋花罗中都可以看到。江苏金坛南宋周瑀墓[5]、福建福州南宋黄昇墓[4]、宁夏银川西夏陵区一〇八号墓[25]等均有四经绞作地纹、两经绞和浮线等作花纹的织物出土。四经绞罗因绞经与相邻地经左右绞缠，不能用竹筘一次打纬，便一直沿用打纬刀，故其生产率较低，明代便很少再用[26]。黄昇墓出土的三经绞牡丹花罗，地纹是两根地经，一根绞经，它们可穿入同一筘齿内，花纹是两上一下的斜纹组织，故这种花罗织物的穿筘方法，可如同两经绞罗一样地穿入筘齿内，用竹筘打纬，从而提高了花罗生产率。江西德安南宋周氏墓出土三经绞纹罗残片6件，经纬密大体相近，为44~51根/厘米、20~24根/厘米，纹样有牡丹、山茶，间饰如意。其黄褐色牡丹山茶罗的花纹循环（>）60×（>）17厘米，若纬密依20根/厘米计，其花本至少在1200根以上。这样大的花纹循环，在同期丝织品中是不多见的[27]。

宋代提花技术已发展到相当完善的程度，这在有关出土文物和文献资料上都可看到。唐、宋之后，人们采用多综多蹑的机构与束综提花结合起来，织出了更大的花纹和纬显花组织。

（二）缎纹的出现和三原组织的最后完成

缎纹是在斜纹基础上发展来的，在每个完全组织中，其组织点并不像平纹或斜纹那样排成连续的线条，而是均匀分散，并为浮长较大的纱线掩盖，使织物表面只显现出经线或纬线的独特风格。以缎纹构成的织物，表面平整、质地致密而富有光泽、手感柔软。缎纹与提花等结合起来，便可产生许多新的组织品种。其结构有单层组织的素缎、暗花缎，也有重组织的锦缎。如前所云，缎纹组织在唐代便已初露端倪[28]。宋黄昇墓曾出土过六枚纹纬松竹梅提花缎，其经、纬丝均为先染后织，交织后有明显的闪色效果；经丝略加拈，甲、乙纬丝均不曾加拈；地部以经丝起六枚缎组织，由甲纬织人，色调较纯，乙纬沉在背面，花部是以乙纬组成的六枚纬显花，甲、乙纬在花地不同的位置上相互交替，形成纬二重组织，纹样作满地松、竹、梅，花纹单位是17×10厘米，以写意手法表现出组织结构的特点[29]。现代织物组织学把平纹、斜纹、缎纹合称为“三原组织”，其中的平纹及其变化，斜纹及其变化组织等，均在先秦便已出现，缎纹却是到了宋代才确立起来的。值此，三原组织都已产生并确立。

关于织物组织的分类，目前学术界产生了多种不同说法，“三原组织”说是最早的一种。此外，韩国学者沈莲玉还提出了“四原组织”说，她把中国古代织物组织归为4种，即平纹、斜纹、缎纹，再加上罗纹[30]。赵丰把它归为2种“组织元”，即平经元、绞经元[31]。高汉玉又把整个织物组织归为3种“结构元”，即平经、绞经、立绒；其平经包括平纹、斜纹、缎纹及其变化组织；绞经包括二经绞罗、三经绞罗、四经绞罗及其花罗组织；立绒包括绒圈、栽绒、漳绒（缎）、雕绒及其花纹绒等[32]。看来，用“三原组织”来概括常用织物，或说普通织物的组织形态还是可以的，但它未曾言及罗纹、立绒等特殊织物的组织；而三种“结构元”

的分类法则概括了所有织物的组织，故较为全面。

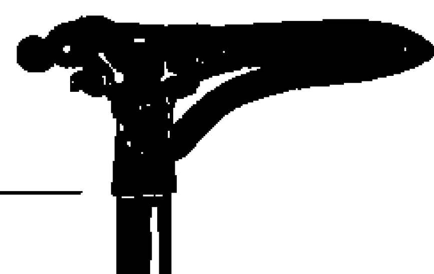
（三）几种颇具匠心的纺织品

宋后，织物结构向艺术化、大众化两个方面发展，唐代以前出现的织金、起绒、挖花，也与缎纹结合起来了，从而创造了许多新的品种。作为工艺美术织物的缂丝，亦更加盛行起来。宋代纺织品名目繁多，花色绚丽，反映了纺织印染方面的高超技艺。黄昇墓出土的罗、绫多为提花，最大的花朵达 12 厘米，其写实而奔放，完全摆脱了汉唐提花以细小规矩纹为图案的作风，开创了写实图案的提花工艺[4]。下面仅介绍一下宋代锦、罗、缂丝，以及棉毯的情况。

锦。由于技术传统和自然资源之差异，宋代出现了不少各具特色的名贵纺织品。在锦中，最负盛名的有二：一是“蜀锦”，产于四川；二是所谓的“宋锦”，产于苏州、湖州、杭州等江浙一带。汉代的蜀锦原属经显花，唐后又吸收了纬显花的技艺，其固有特色已经很少。元费著《蜀锦谱》载，宋代蜀锦曾仿造湖州的染织法，织造“真红湖州大百花孔雀锦、四色湖州百花孔雀锦、二色湖州大百花孔雀锦”[1]。南宋蜀锦已达 40 多种，图案有写实山水、花鸟、人物、禽兽，有写意瑞草云鹤，还有传统的狮子戏球、天马行空、百花孔雀等。江浙一带的“宋锦”是到了宋代才开始盛行的，它采用精密细致的“三枚斜纹地”，经线分面经和底经两重；面经用本色生丝，底经用有色熟丝；纬用多种色彩的练丝。以底经作地纹组织，面经作纬线浮长的“结接经”。这种结构继承了唐以来的纬锦织造技术，用彩纬加固，形成纬三重起花[33]。

我国古代织锦显花技术的发展可分为两个阶段：一是唐代以前，以经显花为主，主要代表是蜀锦；二是唐代之后，以纬显花为主，主要代表是所谓“宋锦”。

辽、金还有一种加金织物，其中主要是向锦缎类织物中织入金丝。我国以金丝、金泥装饰织物的工艺至迟始见于汉，长沙马王堆汉墓曾见金银印花纱，魏、晋之后开始增多，宋、辽、金时有一定的发展。辽宁法库县叶茂台辽墓（断代 960 ~980 年）出土有片金刻丝、描金、捻金等饰金织物，其中有一件 2 米长的缂丝袷被，以金为主色，织出升龙、火珠、山、水、海怪组成的复杂图案[34]。新疆的回鹘人亦擅长织金，南宋初年的洪皓（1088 ~ 1155 年）出使金国归来后撰有《松漠纪闻》，其卷一说回鹘有罗绵、绒锦、线罗、尅丝等织物，“以五色线织成袍，名曰尅丝，甚华丽。又善捻金线，别作一等，背织花树”。阿城金代齐国墓出土有织金绫、织金绢、织金锦等。其中一件烟色地双鸾朵梅织金绸锦男护胸，衬里为驼色绢，内絮薄丝绵。饰纹以满地织金朵梅为衬托，再饰一排对飞的织金双鸾，图案生动活泼，造型精细，风格独特[6]。金代对帝后宗室服金用金都有明确规定。《金史》卷四三“舆服志中”载：“衮用青罗，夹制五彩，间金绘画。正面日一、月一、昇龙四、山十二……”其接着还谈到了“销金”、“镂金”等工艺。此“间金绘画”，对我们了解先秦画缋之工是有一定帮助的。同卷又载：“宗室及外戚并一品命妇衣服听用明金，期亲虽别籍女子出嫁并同。又五品以上官母妻许披霞帔，帷首饰霞帔领袖腰带许用明金。”此“用明金”，与“间金绘画”一样，都是一种饰金。加金银织物在宋代是一度受到禁止的。《宋史》卷一五三“舆服五”曾有详细记述。如大中祥符“八年诏：内廷自中宫以下，并不得销金、贴金、间金、戭金、





圈金、解金、剔金、陷金、明金、泥金、楞金、背影金、盘金、织金、金线撚丝装著衣服，并不得以金为饰”。但这种规定时紧时松[35]，南宋之后又渐解禁。所以，总体上看，饰金银之风在宋廷统治区也还是盛行的，福州北郊南宋墓出土过印金、描金花卉花边[4]，江西德安南宋周氏墓便出土过褐色印金罗[27]。

罗。人们常以汉锦、唐绫、宋罗，来概括每一时代的代表性织物。所以罗在宋代，是颇具时代特色的流行织物。各种罗织物在宋代都较流行，有素罗，也有花罗。宋代花罗有四经绞花罗、三经绞花罗、二经浮纹罗等。如前所云：四经绞花罗在武进宋墓、金坛南宋周瑀墓、福州南宋黄昇墓等都有出土。三经绞斜花罗在黄昇墓、德安周氏墓，三经平纹（即单绞）花罗在武进南宋墓等都有出土。江西德安南宋周氏墓登记在册的纺织品残片计 65 件，其中罗片有 39 件，占残片总数的 60%；有素罗，也有纹罗；花罗有二经绞纹罗、三经绞纹罗、三经绞斜纹罗、四经绞纹罗[27]。润州（今镇江）、遂宁、婺州、定州、杭州等地皆产罗。北宋润州设有“织罗务”。陆游《老学庵笔记》卷二说:“遂宁出罗，谓之越罗，亦似会稽尼罗而过之。”[36]杭州生产各种高级丝织品，吴自牧《梦粱录》卷十八载，“绫：柿蒂、狗蹄；罗：花、素、结罗、熟罗、线佳；锦：内司街坊以绒背为佳”。前云黄昇墓所出土的大量衣物料中，多数皆为罗。

缂丝。缂丝技术始于唐，宋后便有了较大发展，不仅质地细致，而且色彩相当丰富，其花鸟纹的立体感极强，其中又以河北定州缂丝为最。南宋时期，缂丝模仿名人书画，甚为逼真。宋代庄季裕《鸡肋篇》卷上说:“定州织刻丝，不用大机，以熟色丝经于木挣上，随所欲作花草禽兽状，以小梭织纬时，先留其处，方以杂色线缀于经纬之上，合以成文，若不相连。承空视之，如雕镂之象，故名刻丝。如妇人一衣，终岁可就。虽作百花，使不相类亦可，盖纬线非通梭所织也。”[37]今苏州传统技术中所用缂丝机，系小型平素织机，只挂两片平纹综片，下连两根脚竿，机身设有送经轴和卷取轴，再配以竹筘、大如竹叶的小梭以及打纬用的竹制小拨子，织时于经丝下方挟以图样，并用笔将花纹轮廓拓描到经丝上，后依花纹色彩，用彩色纬丝以小梭逐块缂织，两个色块间的纬色并不相连，碰到直线边界时，便出现一条“裂缝”，是即“通经断纬”，“承空视之如雕刻之象”[38]。这对我们了解古代缂丝操作是很有帮助的。在两宋缂丝中，又以南宋缂丝为最，其兼收了绘画和书法的上乘之作。传世有北宋缂丝黄鸾鹊谱等佳品[38]。

棉毯。如前所云，1966 年兰溪宋墓出土棉毯 1 条，至今仍保存完好，色白，全长 2.51 米，宽 1.16 米，平纹，双面起绒，绒头丰满厚实，经密 19~20 根/厘米（布边经密约为 38~40 根/厘米），纬密 9 根/厘米。经纬纱都十分平直，应是以筘打纬而织成的。因棉毯为独幅，经密与纬密都较大，说明宋代已使用了宽幅的重型棉织机，并且很可能是两人司织的，左右轮流投梭，一人兼施打纬。棉毯的经纱为单股，捻度较大，纬纱为双股，捻度稍小；纬纱起绒，其双股在并捻时夹进了一根搓制的细棉条，以供起绒之用；其绒头与纬纱粘着得并不牢固。用双股纬纱，很可能与古代纺锤、纺车无法纺制适用于绒毯的粗支弱捻纬纱有关[3][39]。这是我国迄今出土的唯一的棉毯。

此外，江西德安南宋周氏墓还出土了一片苎麻织品，经纬密为 22 根/厘米、17

根/厘米。经计算，此德安麻布便相当于汉制的 14 升布[40]，属高级麻织品。从选料、脱胶到纺织，都具有较高的工艺水平[27]。

**四、漂练印染技术的进步**

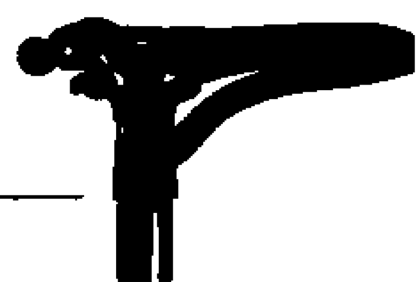
（一）漂练技术。宋代漂练技术多沿用前代的一些工艺，但也有一些新的成就。周去非《岭外代答》卷六“布”条云：静江府古县苎麻布最为耐久，“原其所以然，盖以稻穰心烧煮布缕，而以滑石粉膏之，行梭滑而布以紧也”。这里谈到了灰水漂练和滑石粉处理两项操作。织物灰水处理在我国发明甚早，及至近现代，农村仍在沿用；表面涂白粉的技术在魏晋南北朝的纸张后期处理中也曾看到。此外，宋代还沿用前世的白土浣衣技术，《本草纲目》卷七引宋苏颂云：白善土（即白垩土）“处处皆有之，人家往往用以浣衣”。又引宋寇宗奭云：“白善土，京师谓之白土粉，切成方块，卖于人浣衣。”白土浣衣的工艺至迟南北朝便已使用。宋代还出现了硫黄漂白的记载，《格物麤谈》云：“葛布年久则黑，将葛布先洗湿，入烘笼内铺着，用硫黄熏之，色则白”。此书旧题宋苏轼撰，但其内容往往与苏轼《物类相感志》相重，又有人认为它是元人伪撰。硫磺漂白的记载前此是不曾看到的。

（二）凸版印花。宋代的印染技术得到了较大发展，其最值得注意的是型版印花技术，不管是凸版印花、镂空型版印花，还是缬染著花，都表现了高超的技艺；前两种在福州南宋黄昇墓都可看到。

凸版印花常分三步：第一步是先将涂料或金泥刷于凸纹版上，并在织物上印出图案的底纹，或直接印出金色的轮廓来；第二步是描绘敷彩；第三步是用白、褐、黑等色料，或金泥勾出花瓣和叶脉。这是汉唐以来凸版印花技术的发展。黄昇墓所见有印花彩绘百菊花边、印花彩绘龙凤花边等。

（三）镂空型版印花。黄昇墓出土的衣袍都有丰富多彩的边缘装饰，其中包括镂空型版印花、印金、刺绣、彩绘等[4]。镂空型版大约是以硬质木板或硬纸板制成的，印花操作是：将花版平置于处理过的织物上，再于镂空部位涂刷色浆，脱去花版后，花纹即现。色料中常需调入一些粘合剂。因色浆多次涂刷，以致于印出的花纹有些凸起，而且织物的纱孔也可能会被色浆覆盖，有的部分可能还有浸渍现象。但总的来看，花纹线条还是比较润泽流畅的。作为花纹的一些主要部位，则在印好底纹后再加工描绘。其具体操作约有四种：（1）植物染料印花，如蓝点印花绢裙等，裙面上满印靛蓝小点花纹，呈现两面印花的良好效果。（2）涂料印花，如其浅褐色双虎罗单幅料，涂料中当含某种胶着剂。（3）胶印描金印花，即先用颜料刷印彩色缠枝花纹，再用金泥勾描纹样轮廓。（4）洒金印花，先将镂空型版贴在熨平了的织物表面，再在镂空处刷以掺有色彩的胶粘剂，脱去花版，在纹样处洒以金粉，之后再抖去多余的金粉，即成洒金花纹。宋代的型板印花因在印出了主要纹样的轮廓后，再进行细致的彩绘，使服饰花边既有固定花位，又有接版循环。完全摆脱了汉唐图案的作风，使南宋颜料印花达到了一个新的高度[41][42]。

（四）灰缬染花。此技术始见于唐，宋后又有一些发展。《古今图书集成》“方舆汇编·职方典”卷六八一引《苏州纺织品名目》云：“宋嘉泰中有归姓者创为之，以布抹灰药而染青，候干，去灰药，则青白相间，有人物、花鸟、诗词各色，充



衾幪之用。"[43]此"灰药"当为某种碱剂。

（五）夹缬染花。宋代缬类织物主要是夹缬，依其使用情况，前后约可区分为两个阶段：（1）北宋时期，明令禁止民间使用染缬，而是以之作为军用、官用之品。《宋史》卷一五三"舆服志五"载：大中祥符七年（1014年），"禁民间服销金及钹遮那缬"。"八年又禁民间服皂斑缬衣"。稍后的天圣三年（1025年）还诏禁了撮晕花样布："在京士庶，不得衣黑褐地白花衣服，并蓝黄紫地撮晕花样……令开封府限十日断绝。"此"撮晕花样"，当为绞缬。（2）南宋时期，逐渐开始解禁，夹缬染色便在民间流传开来。山西南宋墓曾出土一件镂空版白浆的夹缬染色印花罗[44]，甚为珍贵。《朱文公文集》卷一八"按唐仲友第三状"载，唐仲友（1136～1188年）"又乘势雕造花板，印染斑缬之属，凡数十片，发归本家彩帛铺充染帛用"。这也说明了私营夹缬之发展。

（六）蜡缬染花。宋代中原地区使用较少，多流行于西南少数民族中。周去非《岭外代答》卷六说："瑶人以蓝染布为斑，其纹极细，其法以木板二片镂成细花，用以夹布，而熔蜡灌于镂中，而后乃释板取布投诸蓝中，布既受蓝，则煮布以去其蜡，故能受成极细斑花，炳然可观，故夹染斑之法，若瑶人者也。"这把蜡染工艺及其流传情况都说得十分明白。南宋末年宋朱辅《溪蛮丛笑》"点蜡幪"条也谈到了西南少数民族的蜡染："溪峒爱铜鼓，甚如金玉，模取鼓文，以蜡刻版印布入靛缸渍染，名点蜡幪。"[45]

（七）关于染皂铁浆。铁浆染皂始见于南北朝时期，唐、宋文献都有记载。宋苏颂《图经本草》云："取诸铁于器中水浸之，经久色青沫出，可以染皂者为铁浆。"[46]此记载依然较为简单，对媒染的化学过程未作说明。一般而言，诸铁器的氧化物是难得溶于水中，并起到媒染作用的；故有学者认为，很可能是其中加入了醋酸，生成了少量醋酸铁的缘故[47]。可以进一步研究。

## 第五节　机械技术的发展

先世发明出来的各种机械在宋代都使用得更为广泛，技术上也日臻娴熟。此期机械技术比较值得注意的事项是：（1）原动力利用方面，发明了水力大纺车，发明了风力加工机械和风力排灌机械；利用了浮力起重。（2）多种小型机械，如榨糖车、簧片锁、舞钻等皆始见于图案或文字记载；发明了"猛火油柜"，抛石机和弩机都发展到了它们的高峰期，捩轴剪逐渐推广开来。（3）齿轮传动和链传动都发展到了更高水平，有关指南车、记里鼓车、水力天文仪器的记载都更为详细。（4）造船技术达到了较为发达的阶段。下面仅对其中部分机械作一介绍。

### 一、风力和水力的利用

（一）风力排灌机械和风力加工机械的发明

我国古代关于风力排灌和风力加工的机械皆始见于宋。这是宋代风能利用技术的一项重要成就。

刘一止（1087～1161年）《苕溪集》卷三"水车"载："我欲浸灌均两涯……老龙下饮骨节瘦，引水上泝声呷呀。初疑蹙踏动地轴，风轮共转相钩加……残年

我亦冀一饱，谓此吹鼓胜闻蛙。”[1]这是我国古代关于风力灌溉的较早记载。其中的“钩加”当指风轮与龙骨车之间的传动。

宋洪咨夔（1176～1236年）《大冶赋》在谈到铸钱工艺时，说到过以风力和水力加工钱币的机械：“液爰泻于兜杓，匣遂明于模印。绝之落落，贯之磷磷，嗟之以风车之棚轧，镳之以水轮之硙隐。缯网涓拭，盅覈摩揗。肉好周廓，坚泽精紧”[1]。此前两句指浇铸，第三、四句指脱范之后，机加工之前穿贯钱币的情况；第五、六两句应指以风力和水力来加工钱币。显然，此“水轮”，即水力机械；“风车”，即是风力推动的加工机械。

这是我国古代关于以风力提水、风力加工钱币的较早记载。但这风力机械的具体结构，今则很难了解。一般而言，当有立轴式、卧轴式、斜轴式等种。

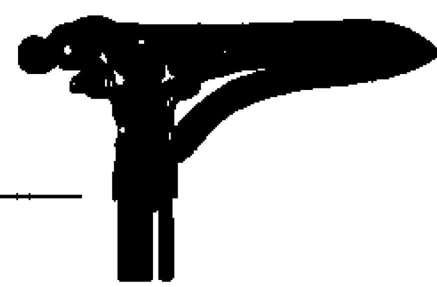
此外，耶律楚材（1190～1244年）《湛然居士文集》卷六“西域河中十诛”还谈到过风力磨，其云：“寂寞河中府，西流绿水倾，冲风磨旧麦（原注：西人作磨，风动机轴，以磨麦）；悬碓杵新粳（原注：西人皆悬杵以舂）”[2]。耶律楚材，原为契丹人，曾任金燕京行尚书省左右司员外郎，先元太祖十年（1215年）降蒙古，十四年（1219年）随太祖西征；太宗即位，助定君臣礼仪。“河中十诛”有可能是西征期间所作，其生活年代约与南宋（1127～1270年）中晚期相当。这种风力磨当在西域沿用了相当长一个时期，此“河中府”故治在今中亚撒马尔罕，我国境内尚未看到使用风力磨的记载。清王士祯《池北偶谈》卷二三“风磨风扇”条引陈诚《西域录》还对这种风力磨的构造作了简要说明：“西域哈剌赛玛尔堪诸国多风磨，其制筑垣墙为屋，高处四面开门，门外设屏墙迎风。室中立木为表，木上用围置板，乘风下置磨石，风来随表旋动，不拘东西南北俱能运转。风大而多故也。耶律文正诗‘冲风磨旧麦，悬碓杵新粳’。又有风扇于帐房中，高悬布幔，下多用头发当面绳索牵动，自然有风，不用撣扇也。”[2]此“哈剌赛玛尔堪”当即今撒马尔罕。

我国古代利用风力做功的最早实例大约是船帆，它始于汉或汉前；稍后是车帆，约始见于南北朝；再后才是风力加工车和风力扬水车，皆始见于宋。玩具风车自然也是风力做功的一种形式，如前所云，其或始于东汉[3]；南宋画家李嵩所绘《货郎图》中，货郎担前框中，也有儿童玩具风车的形态[4]。李嵩，钱塘人，少为木工，光宗（1190～1194年）、宁宗、理宗（1225～1264年）三朝任画院待诏。

（二）浮力起重

此事唯见于宋代文献，最明显的例子是打捞蒲津桥铁牛。蒲津桥在开元间曾大修过一次，将竹索式浮桥换成了铁索式浮桥，两岸铸铁为牛，以为牵引。之后虽小修不断，但历三百余年不曾发生重大事故。宋庆历间（1041～1048年），水涨桥毁，铁牛沉入河中，英宗（1064～1067年）时僧怀丙利用浮力原理将铁牛捞起。

《宋史》卷四六二“僧怀丙传”载：“河中府浮梁用铁牛八维之，一牛且数万斤。后水暴涨绝梁，牵牛没于河，募能出之者。怀丙以二大舟实土，夹牛维之，用大木为权衡状钩牛，徐去其土，舟浮牛出。转运使张焘以闻，赐紫衣。”张焘，宋临濮（今山东鄄城西南）人，治平四年（1067年）加龙图阁直学士。僧怀丙打





捞铁牛当在治平四年张焘加龙图阁直学士之前。

吴曾《能改斋漫录》卷一三“河中府浮桥”条也记载过此事，但所述稍有不同。云:“及刘元瑜知河中府，河水大涨，不得决泄，桥遂坏，铁牛皆拔，流散十步，沉河中，中潬亦坏，自是不能复修，津济阻碍，人畜数有溺死者。英宗时，有真定僧怀丙，请于水浅时以絙系牛于水底，上以大木为桔槔状，系巨舰于其后。俟水涨，以土石压之。稍稍出水，引置于岸，每岁止于出一牛。至治平四年(1067年)闰三月新桥乃成，然中潬亦终不能立也。赐转运使张焘等奖谕，其僧亦赐紫衣。”[5]此具体操作与《宋史》稍有出入，但从原理上看，它们都是可行的，都利用了浮力和杠杆原理。

（三）水力排灌机械

先世发明的水力排灌机械都继续沿用，有关记载也有了增加。此期尤其值得注意的是筒车和龙骨车。

筒车。北宋时仍泛称为“水车”、“水轮”。《范文正集》卷二〇《水车赋》说:“器以象制，水以轮济；假一毂汲引之利，为万顷生成之惠。”此“一毂”的水车，显然指筒车。宋王应麟《玉海》卷二二“河渠・金水河”载:“开宝九年，上步自左掖，亲按地势命水工引金水凿渠为大轮，注晋邸及潜龙园。”此具有“大轮”的引水机械，当亦是筒车。可见当时还把筒车用到了园林作业中。北宋梅尧臣《水轮咏》云:“孤轮运寒水，无乃农者营；随流转自速，居高还复倾。利才畎浍间，功欲霖雨并；不学假混沌，亡机抱瓮罂。”[6]此“孤轮运寒水”，所指当也是筒车。到了南宋，便出现了“筒车”之名。南宋张安国《过兴安呈张仲钦》诗云:“筒车无停轮，木枧着高格。”[7]这是我国古代文献中，较早明确地提到“筒车”一名的地方。张安国《湖湘以竹车激水粳稻如云书此能仁寺壁》[8]诗则描写了筒车运动的情况。

龙骨车。这是一种具有搬运功能的链传送机械，整个器身由上下两个叶轮、“龙骨”、叶板、行道槽组成；其“龙骨”和叶板合在一起便组成了“链条”；整个器身皆为木结构。驱动上叶轮，带动下叶轮，龙骨和叶板便沿着行道槽将水汲起。其驱动方式，宋代主要是人力踏动，元代又有了水力推动和畜力推动，明代又出现了一人以手摇动者。元王祯《农书》卷一八“农器图谱・灌溉门”曾对龙骨车形制作过详明的描述:“龙骨车……其车之制，除压栏木及列槛桩外，车身用板作槽，长可二丈，阔则不等，或四寸至七寸，高约一尺。槽中架行道板一条，随槽阔狭。比槽板两头俱短一尺，用置大小轮轴。同行道板，上下通週以龙骨板叶，其在上大轴两端，各带拐木四茎，置于岸上木架之间。人凭架上，踏动拐木，则龙骨板随转循环，行道板刮水上岸。”可见此“链”主要是为了传送、搬运水的；虽然它也接受和传递了一种动力，但那仅仅是为了克服传送阻力的。

“龙骨车”之名约始见于宋，许多文献都曾提到。明田艺蘅《留青日札》卷一八“龙骨”条载:“今水车中，虾蟆练头名龙骨，盖龙能行水，亦取其形似脊骨也。”[9]王安石《元丰行示德逢》云:“倒持龙骨挂屋敖。”宋李壁注云:“龙骨所以车水，既得雨则无用，故挂之屋敖。”王安石《后元丰行》又云:“龙骨长干挂梁梠。”[10]显然，此“龙骨”即龙骨车。这是我国古代文献中较早提到“龙骨”车的地方。《东坡全集》卷六“无锡道中赋水车”提到了“蜕骨蛇”之车，实际上也

是龙骨车。其云:“翻翻联联衔尾鸦，荦荦确确蜕骨蛇；分畦翠浪走云阵，刺水绿针抽稻牙。”[11]关于龙骨车形态的绘画始见于北宋画家扬威的《耕获图》，系四人踏动。南宋陆游《剑南诗稿》“春晚即事”则说得更为明确:“龙骨车鸣入水塘，雨来犹可望丰穰；老农爱犊行泥缓，幼妇忧蚕采叶忙。”[11]这里更为明确地用到了“龙骨车”一词。南宋王十朋《得雨复用闻水车韵》也说到过“龙骨”的意思:“蜕骨木龙忧不雨，更唤两牛眠下土（原注：农家以架车者为眠牛）；水从地底飞上田，不减在天行雨苦。”[12]李崇州认为，宋人常说的“踏车”、“水车”，皆指龙骨车言[13]。此说当有一定道理。如东坡诗《次韻吴正字主户曹二首》中提到过踏车:“使君下策真堪笑，隐隐惊雷响踏车。”[14]南宋陆游《入蜀记》卷一，说在运河边看到过踏车:“妇人足踏水车，手犹绩麻不置。”[15]又，王安石《山田久欲拆》同时提到了龙骨车与踏车:“山田久欲拆，秋至尚求雨；妇女喜秋凉，踏车多笑语……龙骨已呕哑，田家真作苦”[16]。此当是一种用脚踏动的龙骨车。《梦溪笔谈》卷一三谈到过苏州至昆山间一种筑堤用的排水水车:“苏州至昆山县凡六十里，皆浅水，无陆途，民颇患涉，久欲为长堤。但苏州皆泽国，无处求土。嘉祐中，人有献计，就水中以籧篨刍藁为墙……则以水车车去两墙之间旧水，墙间六丈皆土，留其半以为堤脚，掘半为渠，取上以为堤。”“水车”一词的含义，不管在文献记载还是民俗中，都十分丰富，各种汲水的轮轴机械，大体上都可称之为水车，具体含义需一一分析。显然，此“水车”即是龙骨车。

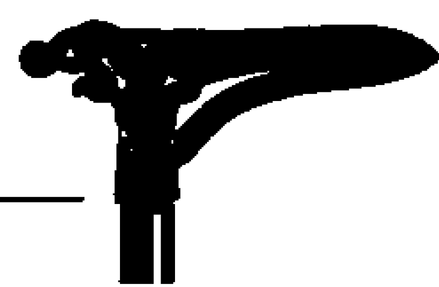
学术界对龙骨车的发明年代一直存在不同看法；元王祯[17]、明徐光启[18]、今人刘仙洲[19]、陆敬严[20]等皆说其始于汉；李崇州则说其始于北宋，并说宋代龙骨车并无“翻车”的别名[13]。我们倾向于后说，且有3条理由补充：（1）“翻车，今人谓龙骨车”，这是王祯最早提出的，之后为徐光启，今世一些学者沿用，但我们并不知道王祯立论的真实依据，但却知道其与汉代服虔的话不符。对汉代文献的解释，自应相信服虔为宜，这一点，本书第四章已经提到。（2）明宋应星作过许多民间调查，他并未把龙骨车称之为“翻车”，而是称之为“踏车”（二人踏动者）和“拔车”（一人摇动者）的。（3）汉代已有水碓，从技术发展的一般程序看，水碓与筒车是较为接近的，与龙骨车则距离稍远；龙骨车构造较为复杂，汉代是否能够制作出这样进步的机械，目前并无更多的证据。

## 二、几种简单机械的发明和发展

### （一）碾糖车

发明年代未详。有关记载始见于宋，王灼《糖霜谱》第四载:“糖霜户器用：曰蔗削，如破竹刀而稍轻。曰蔗镰……曰蔗碾，驾牛以碾所剉之庶，大硬石为之，高六七尺，重千余斤。下以硬石作槽底，循环丈余。曰榨斗，又名竹袋，以压蔗，高四尺，编当年慈竹为之。曰枣杵，以筑蔗入榨斗。曰榨盘，以安斗，类今酒槽底。曰榨牀，以安盘，上架巨木，下转轴引索压之”。可见这是一种碾式榨糖车，基本操作是用硬石作成之碾将蔗汁榨出，之后再作他种处理。

（二）关于簧片锁的记载。簧片锁始见于先秦时期，汉、唐墓葬都有出土，汉代文献便有了相关的记载，近现代仍在民间使用。但明确地提到“簧”字的文献，宋前却不曾多见。欧阳修《归田录》卷下载:“燕龙图肃有巧思。初为永兴推官，



知府冠莱公好舞柘技，有一鼓甚惜之，其鐶忽脱，公怅然。以问诸匠，皆莫知所为。燕请以鐶脚为锁簧内之，则不脱矣。”此记载虽较简单，但却在一定程度上也说明了簧片锁技术的发展。

（三）舞钻

发明年代不详，刘仙洲《中国机械工程发明史》[21]，郭可谦、陆敬严《中国机械发展史》[22]均未讨论。今查，较早的形态见于宋苏汉臣“货郎图”，原画高159.2厘米、宽97.0厘米。绢地工笔傅彩，人物有七，一老者，一货郎，五个儿童。货郎手推独轮车一，车上悬挂着农具，如半月锄、多齿锄、铁口镐等；手工业工具，如舞钻、刨、锛、墨斗、曲尺等；兵刃器，如刀、剑、钺、矛等；生活日用器，如镊子、耳挖勺、剃刀等；乐器，如铙、钹、法螺、琵琶等数十种器物；舞钻挂在车子正前方的最下部，平木用刨挂于独轮车右侧前方（彩版肆，2）[23]。

从传统技术调查来看，舞钻主要是借助重力和惯性的作用来做功的。整个钻具由3部分组成：（1）钻杆。为木质杆状物，顶端安一圆形和长方形的木块（亦有石块者），下端安钢钻头。（2）钻扁担，为一长条形横板，横板中部有一圆洞，使钻杆穿过此洞且能上下活动。（3）皮条。计2根，装法一致；一头系于钻杆顶端，一头系于钻扁担的一端。操作时，先拨转钻扁担，将皮条大部分缠于钻杆上，之后将钢钻头对准钻位，一手猛压钻扁担；由于皮条的牵动和钻杆顶端木块的惯性，只要不断均匀地压动钻扁担，钻杆就会不停地旋舞起来。钻头工作时受到两个向下的力的作用：一是木块的重力，二是工匠之手的下压力。做功的钻扁担上下移动，钻杆便左右（或说顺逆时针）转动，钻头便往下钻孔。旋转力实际上来自皮条的拉力，而此拉力又来自工匠之手的下压力。木块旋转是供木块惯性运动和储能的。此皮条是一种驱动装置，而不是一般的传动装置。与图中所示宋代舞钻似有一些差别，其“木块”不是安在钻杆顶端，而在钻头稍上的部位，其转动惯性力当较近代舞钻稍逊。

其实，舞钻的工作原理早已被人们发现和利用。新石器时代的石器、玉器，便是通过钻杆来回旋转的方式来钻孔的，开始完全是手工，后使用了一些简单机械；解玉的盘刀，其轴也是往返旋转的。葛洪《抱朴子》中的飞车，其轴虽为一个方向旋转，但也使用了绳索拉动；先秦、汉后的一些木器孔洞，光洁平整，都很难排除使用舞钻的可能性。依此我们推测，舞钻的发明期应在宋代之前。

（四）捩轴剪和捩轴火钤

捩轴剪始见于唐，宋后迅速推广开来。今在南北多处都有出土。如1954年洛阳烧沟涧西区熙宁五年墓（1072年），1958年河南方城宋宣和改元墓[24]，北京通县金大定十七年（1177年）墓[25]、长沙纸园冲宋墓[26]、四川宋墓[27]等都有出土。此外，《武经总要》“前集”卷一二载有一种火钤，是猛火油柜用来夹火的，其结构、形态与捩轴剪十分接近。说明宋代捩轴机械的使用已较广泛。

（五）绞车和抛石机

宋代战事频繁，绞车和抛石机都使用较多。绞车约发明于先秦时期，晋代便有了十分明确的记载，宋曾公亮（998～1078年）《武经总要》“前集”曾多次谈到绞车；其卷一二“守城”曾把绞车作为一种重要器具列出，不但介绍了它的构

造，而且详述了它的使用方式，云:“绞车，合大木为床，前建二叉手柱，上为绞车，下施四单轮，皆极壮大，力可挽二千斤。凡飞梯、木幔逼城，使善用搭索者遥抛钩索，掛及梯幔，併力挽，令近前，即以竿举大索钩及，而绞之入城”。(图6-5-1)

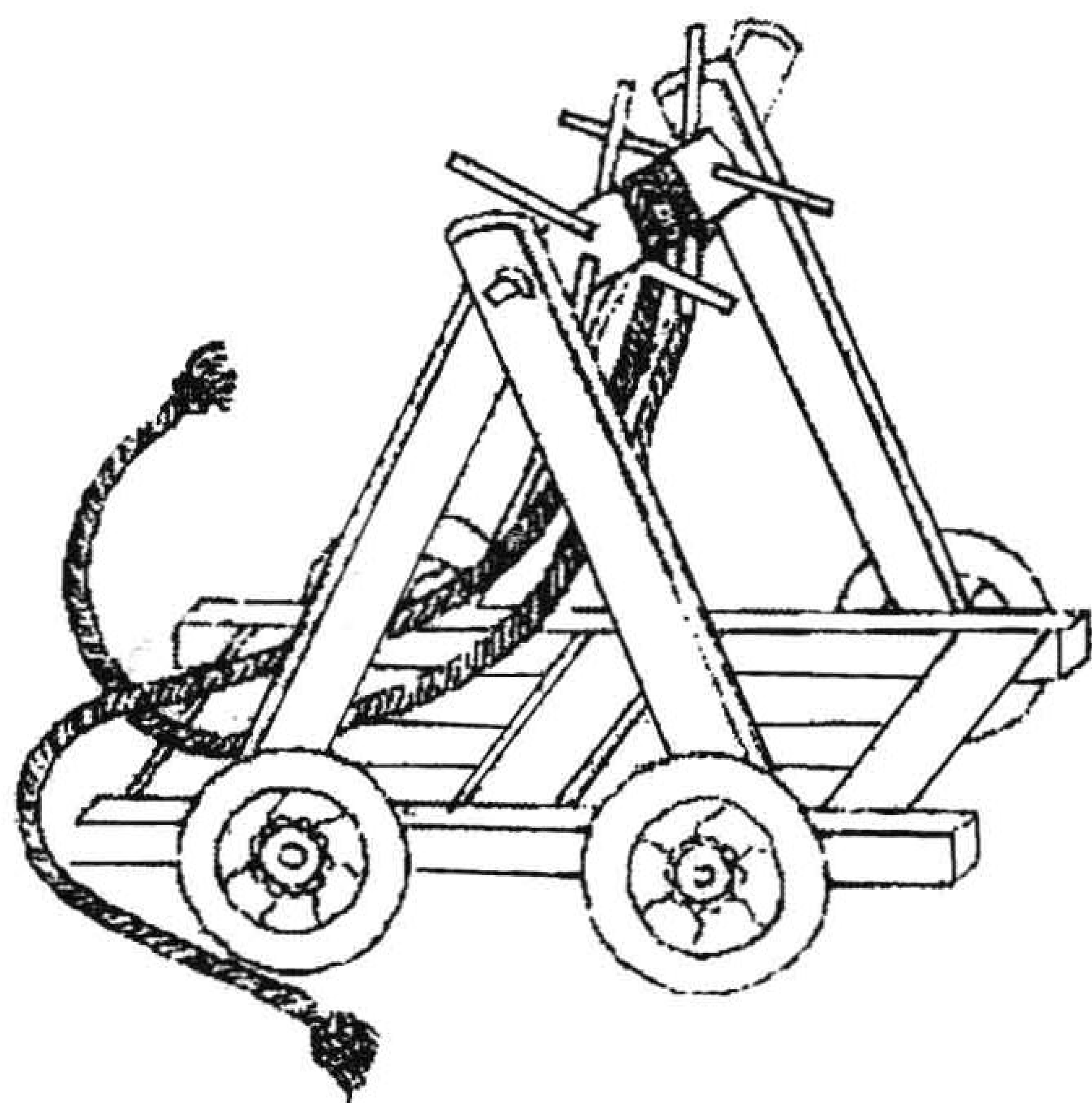


图6-5-1 《武经总要》所载“绞车”图
采自文渊阁《钦定四库全书》抄本电子版，原题有“绞车”二字

抛石机技术在宋代已发展到了它的高峰期。陈规《守城录》卷二说:“攻守利器皆莫如砲；攻者得用砲之术，则城无不拔；守者得用砲之术，则可以制敌。”此“砲”即抛石机。史炤《资治通鉴释文》卷二八“后梁纪二”:“机石也，或从包。”[28]可见，“砲”即是一种以机发石的装置。唐人常把抛石机称作“礮”，宋人在《守城录》(“四库”本）和《武经总要》(“正德”本、“四库”本）等书中却皆称之为“砲”。唐宋时期，这种抛石机主要投射石块，以及纵火物(如油脂等)、有毒物、生铁汁等，宋代亦投掷部分火药包，往往皆谓之“砲”或者“礮”，有时亦称之为“炮”。从部分字书、韵书的注释来看，“砲”和“礮”的含义并无明显区别，“砲”只是“礮”的俗字或省笔字，而且直到明清，两者依然经常混用。明郑若曾《筹海图编》卷一三载有一幅“礮图式”，是一种多人扯动的转轴式大型抛石机；明丘濬《大学衍义补》卷一二二说到的一种“礮”是管形火器；清龚振麟作有《铸礮铁模图说》一文，其“礮”亦是管形火器。

在宋代，炮兵已成为军队编制的一个重要组成部分，宋廷还对多种石炮的构造、尺寸、制作技术、使用性能作了总结；不但发射方法有了改进，而且威力更强，直至宋末元初，仍在战争中发挥着重要作用。

宋炮种类较多，《武经总要》“前集”卷一〇绘有两种“行砲车”，无文字说明。卷一二绘图介绍了16种炮，即:“砲车”、“单梢砲”(两种)、“双梢砲”、“五梢砲”、“七梢砲”、“旋风砲”、“虎蹲砲”、“拄腹砲”、“独脚旋风砲”、“旋风车砲”、“卧车砲”、“车行砲”、“旋风五砲”、“合砲”、“火砲”，另外还有一种“手砲”；它们并非都是独立的种类，有的则差别很小。书

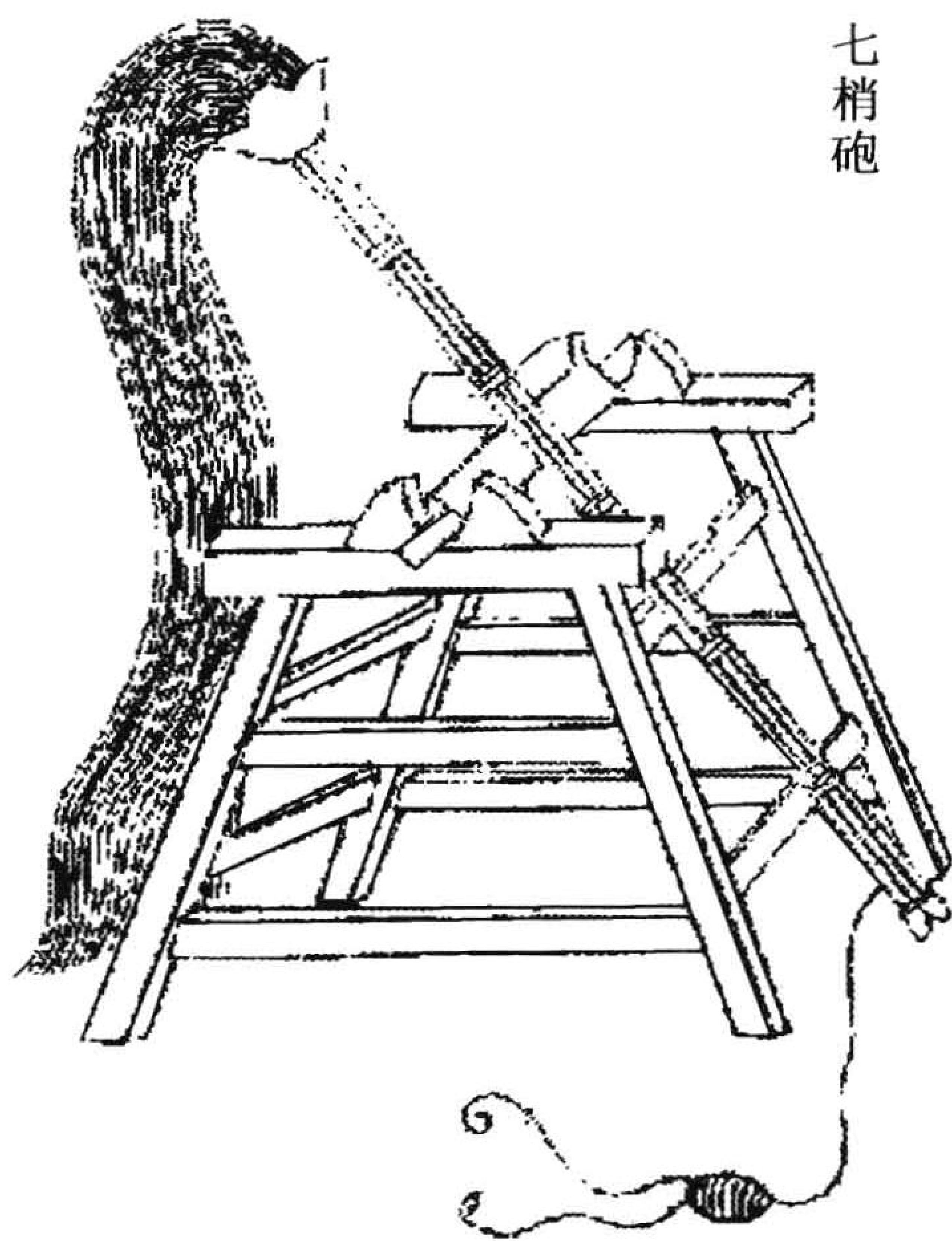
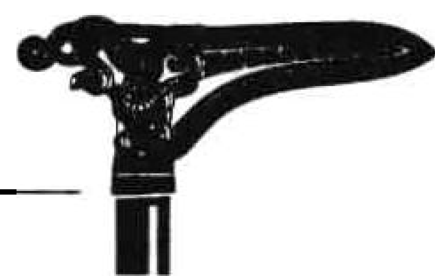



图6-5-2 《武经总要》所载“七梢砲”




中只对8种炮的性能、尺寸、制作方法作了说明；能力最强的是“七梢砲”，杆长2丈8尺，力臂长5尺7寸，拽索125根，拽手250人，定放手2人，射程90步，石弹重90斤。最为轻便的是“手砲”，杆长8尺，拽手、定放手总共2人，石弹重半斤，用于近射。炮架有4轮（如“砲车”、“卧车砲”），或2轮者（如“车行砲”、“旋风车砲”），有植入地下者（如“独脚旋风砲”），有置于地面而无车轮者。“独脚旋风砲”的支架只是一根立柱，包杆可以回转。这16种宋炮之中，大约只有“火砲”一种是投射火药包的，余皆投掷石块[29]。图6-5-2为《武经总要》“前集”卷一二所载“七梢砲”。据说元人攻襄阳时①，还使用过能力更强的炮，其石弹重达150斤。《元史》卷二〇三“方伎传”载，“亦思马因，回回氏，西域旭烈人也，善造砲……至元十年（1273年），从国兵攻襄阳，未下，亦思马因相地势置炮于城东南隅，重一百五十斤，机发，声震天地，所击无不摧陷，入地七尺”。此“入地七尺”之说可能有些夸张，但炮的威力较强当属可信。明、清时期，由于火药火器技术的发展，这种抛石机的石炮使用量大为减少，并逐渐退出了历史的舞台。

（六）弩机

发明于新石器时代晚期，唐、宋达到了它的高峰期。《武经总要》“前集”卷二“教弩法”载:“若乃射坚及远，争险守隘，怒声劲势，遏冲制突者，非弩不充。”宋代弩机虽种类和名称都较多，但大体上皆可概括为制式弩和特种弩两类，制式弩中又可区分为轻型弩和重型弩（床弩）两种。轻型弩由兵士以脚力蹶张；床弩则置于坚实的四脚凳（即木床）上，由数名兵士绞轴张弦，它是在前代绞车弩基础上发展起来的。宋王应麟《玉海》卷一五〇在谈到宋代兵制时说到的有“太平兴国连弩”、“冲阵无敌流星弩”、“乾道木鹤弩”等。宋《武经总要》“前集”卷一三所记以绞车发射者便有7种，如三弓弩、双弓床弩等，除发射一般箭矢外，还发射“油脂火箭”和“火药箭”。下面简单介绍其中几种弩的情况：

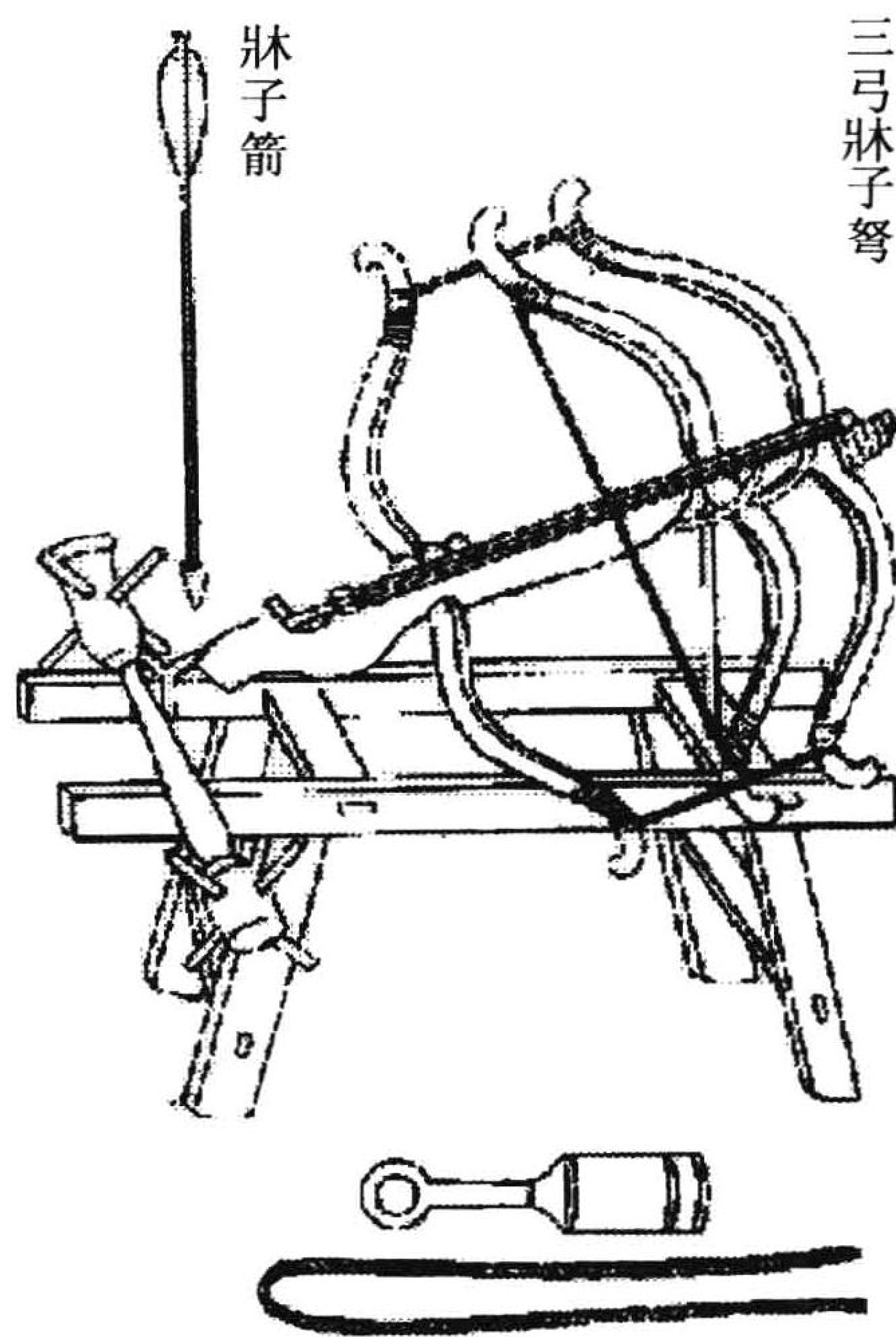


图6-5-3 《武经总要》所载床子弩

远射床子弩。文莹《玉壶清话》卷八云：宋太祖开宝间，“魏丕为作坊使。旧制，床子弩止七百步，上令丕增至千步。求规于信，信令悬弩于架，以重坠其两端，弩势负，取所坠之物较之，但于二分中增一分以坠新弩，则自可千步矣。如其制造后，

① 元人攻襄阳为至元十年，即1273年，南宋灭亡为1279年，故今仍将之置于宋代范围。

果不差"[30]。《宋史》卷二七〇"魏丕传"所述略简。若所述无误的话，依中国国家博物馆所藏宋镂花铜尺（1 尺 =0.316 米）折算[31]，此射程便为 1580 米。图 6-5-3所示为《武经总要》"前集"所载床子弩。

寒鸦箭弩。《武经总要》"前集"卷一三载："系铁斗于弦上，斗中常著箭数十支，凡一发可中数十人，世谓之斗子箭，亦云寒鸦箭，言矢之纷散如鸦飞也。"一发而数十支，可见威力是不小的。

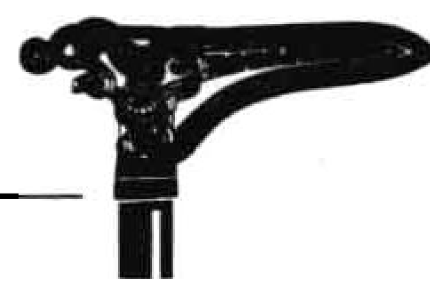
神臂弓和克敌弓。一种蹶张弩，一人便可张开，既轻便又能远射，使用甚广。《梦溪笔谈》卷一九载："熙宁（1068~1077 年）中李定[32]献偏架弩，似弓而施干镫，以镫距地而张之，射三百步，能洞重札，谓之神臂弓，最为利器。"后为宋廷采用。洪迈《容斋三笔》卷一六说得更为具体，并说南宋时将之改名为"克敌弓"："神臂弓出于弩遗法，古未有也……弓之身三尺有二寸，弦长二尺有五，箭木羽长数寸，射二百四十余步，入榆木半笴。神宗阅试，甚善之，于是行用。而他弓矢弗能及。绍兴五年，韩世宗又侈大其制，更名克敌弓，以与金虏战，大获胜捷"。《宋史》卷四二二"曾三聘传"说当时所用克敌弓"一人挽之，而射可及三百六十步"。依前法折算，此"三百六十步"约合今 540 米左右，杀伤力应是较大的。

伏弩。关于伏弩的记载始见于秦，宋时，在军事上的使用有了发展。《宋史》卷三六九"王渊传"载："宣和五年（1123 年），刘延庆讨方腊，以渊为先锋。"方腊力量较强，"渊谕小校韩世宗曰，贼谓我远来，必易我，明日尔逆战而伪遁，我以强弩伏数百步外，必可得志"。方腊"果追之，伏弩卒发，应弦而倒"。伏射数百步，应是一种强弩。

（七）猛火油柜

"猛火油"即是石油，此名约始见于五代，第五章第一节所云《新五代史》、《资治通鉴·后梁均王贞明三年》等都提到过猛火油之名，此二书虽为后人所撰，但当有所本。"猛火油柜"之名始见于宋，这实际上是一种单筒、单拉杆、双活塞的液体压力泵，今世又谓之柱塞泵，其利用拉杆的往复运动，将猛火油连续喷出、燃烧，以攻敌人。

曾公亮（999~1078 年）、丁度等撰《武经总要》"前集"卷一二"守城"条载："以熟铜为柜，下施四足，上列四卷筒。卷筒上横一巨筒，皆与柜中相通。横筒首大、细尾、开小窍；大如黍粒，首为圆，口径半寸，柜旁开窍。卷筒为口，口有盖，为注油处，横筒内有摻丝杖，杖首缠散麻，厚寸半，前后贯二铜束，约定。尾有横拐，拐前贯圆揜，入则用闭筒口，放时以杓自沙罗中挹油注柜窍中，及三斤许。筒首施火楼，注火药于中使然。发火用烙锥。入摻杖于横筒，令人自后抽杖，以力蹙之，油自火楼中出，皆成烈焰。"（图 6-5-4）这里详细地谈到了猛火油柜的构造和使用方法。"熟铜柜"实即贮存易燃性轻质石油的一种容器，其上的"横筒"（"巨筒"）即是唧筒，"四卷筒"实为 4 条抽油管，横筒内的"摻丝杖"实为拉杆；"前后贯二铜束"，说明有两个活塞。当拉杆往前推时，横筒内的石油经前端小口喷出，"熟铜柜"中的石油便进入横筒后端；拉杆往后拉拽时，横筒后部的石油绕过后端小口由前方小口喷出，后端活瓣关闭，熟铜柜中的石油经



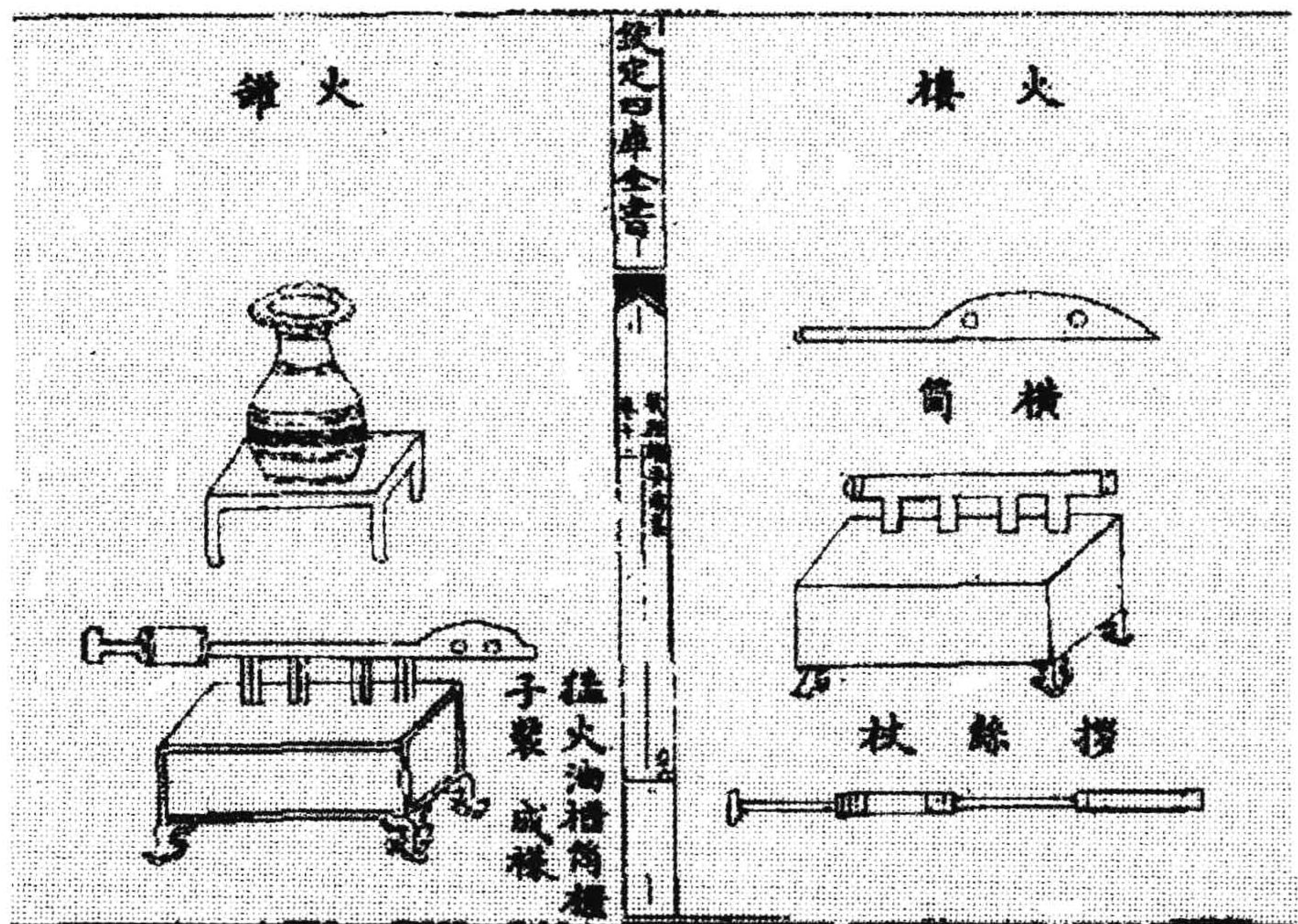



**图 6－5－4　《武经总要》所载猛火油柜**

采自文渊阁《钦定四库全书》本

小管进入横筒前方。这样，不管拉杆往前推，还是往后拉，都有猛火油从熟铜柜中喷出，便达到了连续喷油、喷火的目的[33]。这是我国古代利用柱塞原理做功的较早记载之一。

据马令《南唐书》卷一七载，五代时也有一种火油机，是施油以纵火的机具。北宋初年统一江南时，南唐将领朱令赟从湖口发水军救援金陵，与宋军在大江中遭遇，“令赟先创巨舟，实葭苇，灌膏油，欲顺风纵火，谓之火油机，至此势蹙，乃以火油机前拒，而反风回煽自焚大筏，水陆诸军不战而溃，令赟投火死，粮器俱焚”。此“火油”当即“猛火油”。“火油机”的构造和形态皆不得而知，但至少其技术思想，对“猛火油柜”是有启发的。

**三、齿轮和链传动机械的杰出成就**

在我国古代齿轮传动机械中，较为重要的是记里鼓车、指南车和天文仪器，其发明年代虽皆较早，但早期文献记载多较简单，宋代之后，有关记载才稍见详明起来。这一方面自然与造纸术和印刷术的发展有关，另一方面也说明齿轮传动技术在宋代已发展到了较高水平。尤其值得注意的是：真正的链传动已在苏颂水运仪的天梯中出现。

（一）记里鼓车

《宋史》卷一四九“舆服志”载：“记里鼓车，一名大章车。赤质，四面画花鸟，重台，勾阑，镂拱。行一里则上层木人击鼓；十里则次层木人击镯。一辕，凤首，驾四马。驾士旧十八人，太宗雍熙四年，增为三十人。仁宗天圣五年，内侍卢道隆上记里鼓车之制：‘独辕、双轮，箱上为两重，各刻木为人，执木槌。足

轮各径六尺，围一丈八尺。足轮一周，而行地三步，以古法六尺为步，三百步为里，用较今法五尺为步，三百六十步为里。立轮一，附于左足，径一尺三寸八分，围四尺一寸四分，出齿十八，齿间相去二寸三分，下平轮一，其径四尺一寸四分，围一丈二尺四寸二分，出齿五十四，齿间相去与附立轮同。立贯心轴一，其上设铜旋风轮一，出齿三，齿间相去一寸二分。中立平轮一，其径四尺，围一丈二尺，出齿百，齿间相去与旋风等。次安小平轮一，其径三寸少半寸，围一尺，出齿十，齿间相去一寸半。上平轮一，其径三尺少半尺，围一丈，出齿百，齿间相去与小平轮同。其中平轮转一周，车行一里，下一层木人击鼓；上平轮转一周，车行十里，上一层木人击镯。凡用大小轮八，合二百八十五齿，递相钩鏁，犬牙相制，周而复始。’诏以其法下有司制之。”此记里鼓车与《晋书》、《宋书》所述的一个差别是：其计分两层，行一里时，下层击鼓；行十里时，上层击镯。双层记里车至迟出现于五代，五代马缟《中华古今注》云：“记里车，所以识道里也，谓之大章车。起于西京，亦曰记里车。车上有二层，皆有木人焉。行一里下一层击鼓，行十里上一层击钟。《上（尚）方故事》有做车法”。

《宋史》卷一四九又载有吴德仁设计的记里鼓车，它减少了用作击镯的一对齿轮，使木人在车行一里时，同时击鼓击钲。原文为：“大观之制，车箱上下为两层，上安木人二身，各手执木槌。轮轴其四。内左壁车脚上立轮一，安在车箱内，径二尺二寸五分，围六尺七寸五分，二十齿，齿间相去三寸三分五厘。又平轮一，径四尺六寸五分，围一丈三尺九寸五分，出齿六十，齿间相去二寸四分。上太平轮一，通轴贯上，径三尺八寸，围一丈一尺，出齿一百，齿间相去一寸二分。立轴一，径二寸二分，围六寸六分，出齿三，齿间相去二寸二分。外太平轮轴上有铁拨子二。又木横轴上关楔、拨子各一。其车脚转一百遭，通轮轴转周。木人各二（一?）击钲鼓。”

张荫麟[34]、王振铎[35]分别于1925年、1937年对《宋史》所云记里鼓车进行了较深的研究，王振铎还作了模拟试验；1962年，刘仙洲也作了一些考察[36]，皆取得了较好的成果。图6－5－5为张荫麟推断的卢道隆记里鼓车齿轮示意图。若足轮（即记里车之运行轮）转一周，则依各齿轮的齿数和衔接、传动关系，其转动情况为：

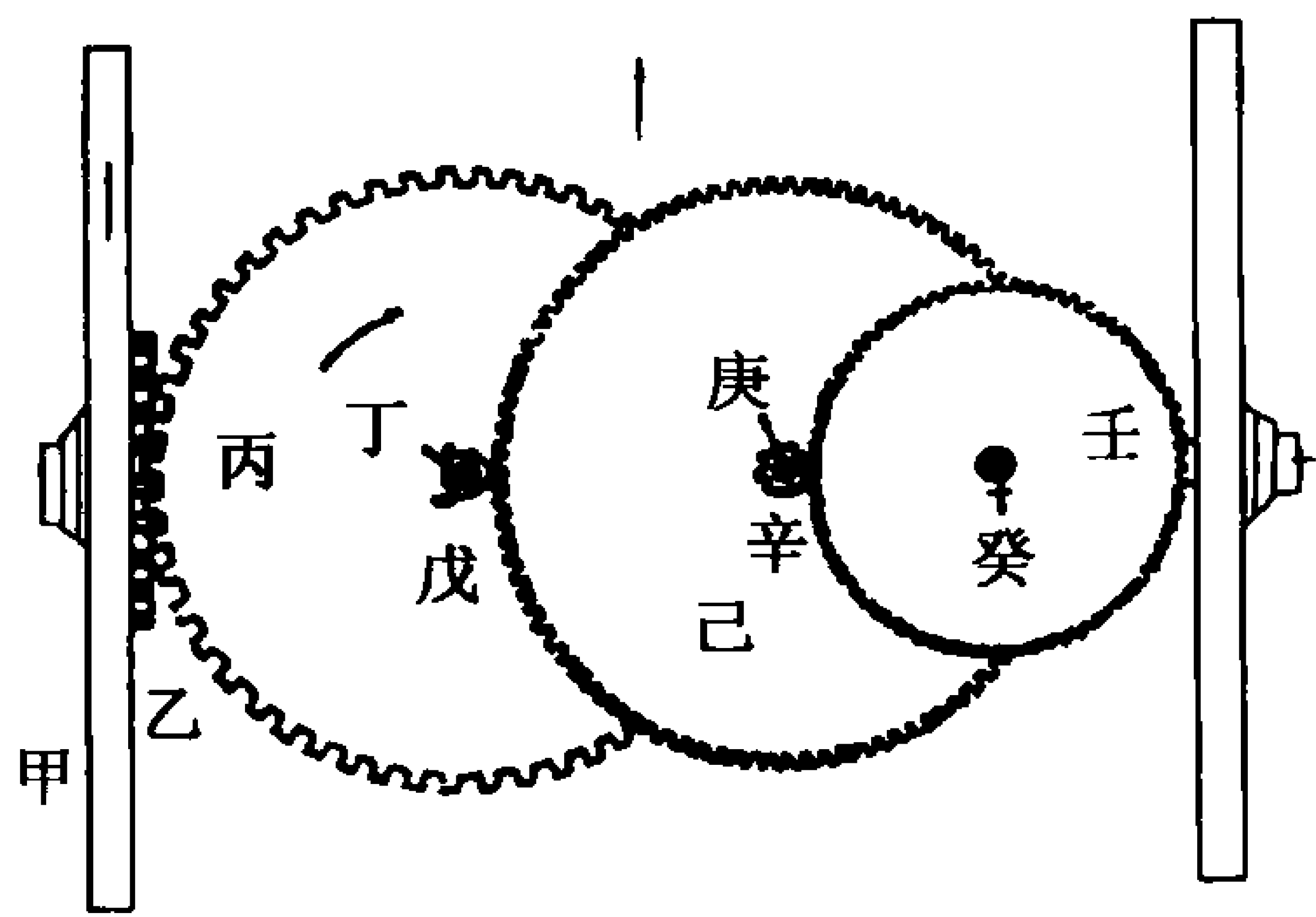



**图6－5－5　卢道隆记里鼓车齿轮传动示意图**
今人张荫麟绘，原出自文献[34]。
今转采自文献[36]

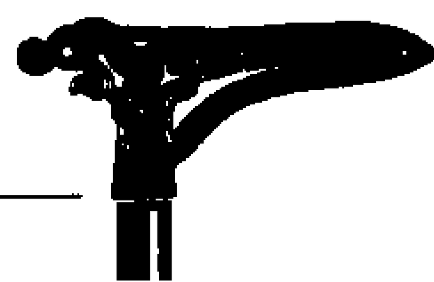
立轮：因与足轮同轴，具18齿，故也转1周18齿。

下平轮：具54齿，因与立轮垂直而以齿传动，故它也转18齿，1/3周。

旋风轮：具3齿，因与下平轮同轴故也转1/3周，1齿。

中平轮：具100齿，因与旋风轮以齿传动，故也转1齿，1/100周。

所以，足轮须转100周，中平轮方转一周。中平轮之轴顶旁有一铁拨子，推动



关捩拨子，则下层木人击鼓，是为1里。

下面再以中平轮为参照物，设中平轮转动1周，看一下其他两个轮子的转动情况：

小平轮：位于中平轮之顶，具10齿，因与中平轮同轴，故其也转1周，10齿。

上平轮：具100齿，与小平轮以齿相衔，故小平轮转10齿时，它也转10齿，为1/10周。

可见，中平轮转1周，上平轮转1/10周，中平轮若转10周，为10里时，上平轮便转1周，为10里。上平轮之轴顶旁亦设有铁拨子，故使上层木人击镯。《宋史》所云虽有不甚严格处，但基本上还是正确的[34][35][36]。可见记里车的传动部分主要是轴、齿轮，以及拨动铁拨子的拨杆（凸块）。

吴仁德记里鼓车工作原理与卢道隆的大体一致，但记述较为零乱，数字亦有讹误者[34][35]。

除《宋史》外，《金史》卷四三“舆服志”也提到过记里鼓车：“大定十一年将有事于南郊，命太常寺，检宋南郊礼，卤簿当用……指南车，记里鼓车。”《金史》卷四一“仪卫志”：“（天眷）法驾……指南、记里车各三十人。”直到元代，杨维桢还作有《记里鼓车赋》一篇[37]。之后，记里车和指南车皆湮没无闻。

（二）指南车

约发明于汉，魏晋南北朝时文献记述甚多，之后，虽然《隋书・礼仪志》、《旧唐书・舆服志》、《新唐书・车服志》、《新唐书・仪卫志》等都有记载，但皆较简单，较为详细的记述是到了宋代，在岳珂《愧郯录》中看到的，《宋史・舆服志》也有记述，两者内容基本一致。宋代指南车又有两种，一为天圣五年（1027年）工部郎中燕肃所奏，系传统之法；二为大观元年（1107年）内侍省吴德仁所献，系新法。前者仅用一个木人指向，利用两个足轮（车轮）、两个小滑轮、5个大小不同的齿轮（即附足立子轮二，各24齿，小平轮二，各12齿，中心大平轮一，48齿）组成齿轮系的离合传动机构。指南车出行前，须事先设定木人所指方向，如南方，于是，当轮行向右转时，前辕亦随之转向右方，由于大平轮的立轴穿贯车箱，以辕为轴承，辕之后部必向左移。因辕之后端系有传动之绳索，于是左边之小平轮下降，右边之小平轮上提，而左边之小平轮又与立子轮、足轮啮合，由于齿轮传动的关系，当车身右转1周时，附足立子轮转2周，小平轮转4周，大平轮逆转一周。各轮皆转48齿，木人随之逆转一周，故指向不变。当车身向左转一周时，木人便向右转一周，仍指原定位方向[35][38]。图6-5-6为王振铎复原的燕肃指南车构造图，吴德仁指南车的基本原理与之一致，只做了局部调整。

指南车首创于张衡，之后盛于历代卤簿，宋金仍有制作，元后无闻。

（三）浑仪

从历代记载来看，宋代制作天文仪器的数量是较多的。据《宋史》卷四八“天文志”载，宋太宗太平兴国四年（979年），司天监学生巴中人张思训作漏水转象仪，“其制起楼，高丈余，机隐于内”；乃开元遗法，运转以水，因天寒时水易凝结，故改以水银为动力。至道（995～997年）中，韩显符“初铸浑天仪于承



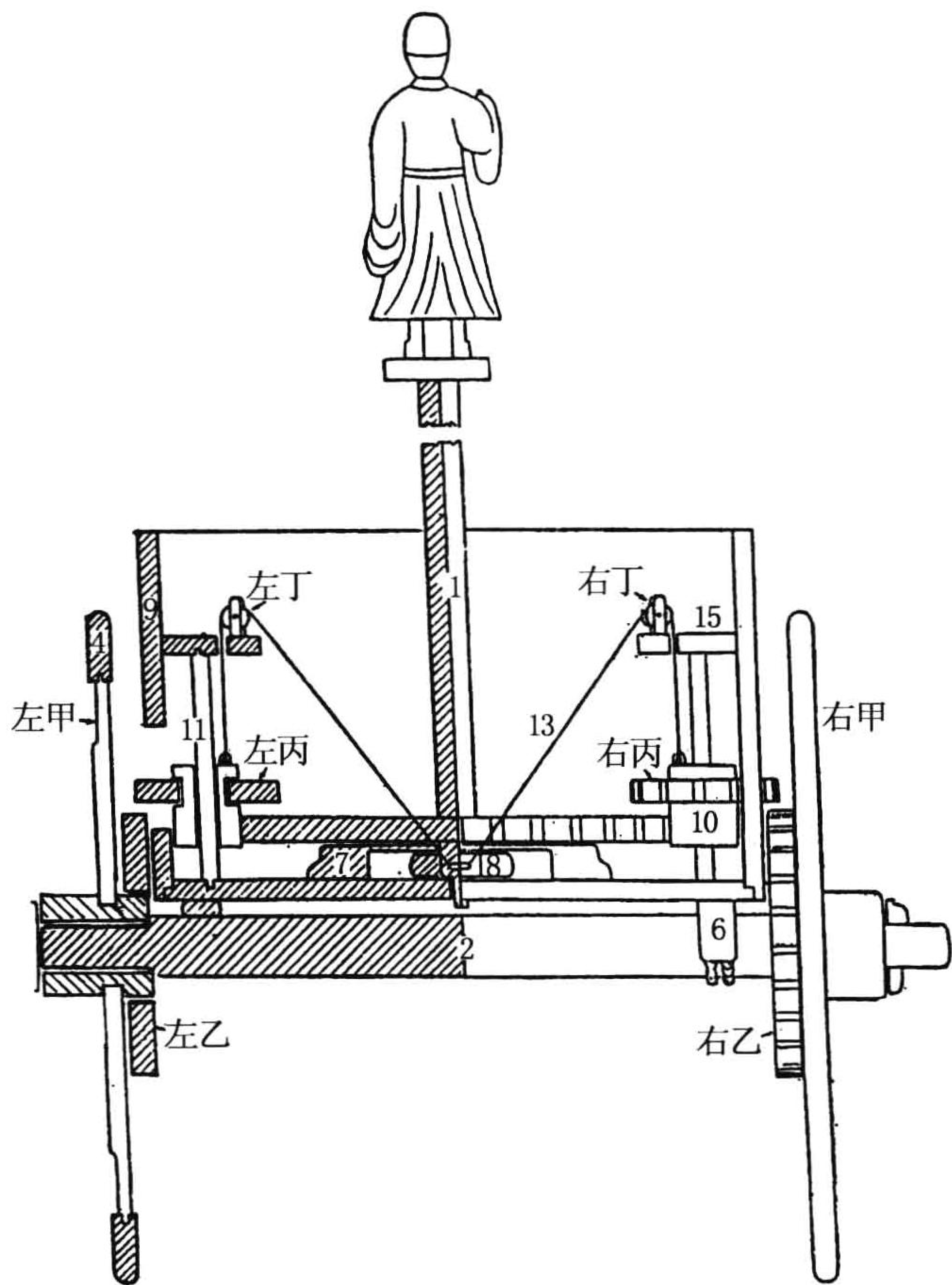




**图6－5－6　燕肃指南车结构复原图**

甲．足轮　乙．立子轮　丙．小平轮　丁．小轮

1. 贯心立轴　2. 车轴　4. 辋（又名牙）　6. 伏兔　7. 压辕板　8. 车辕　9. 车箱

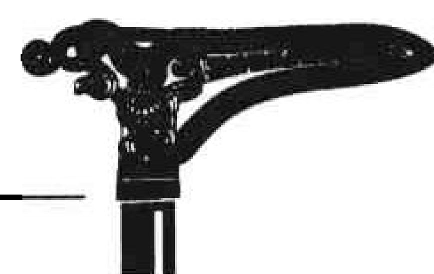
10. 铁坠　11. 立柱　13. 拉索　15. 横木

按：（1）图中原缺编号3、5、12、14。编号1当即木仙人立轴。（2）今重绘了个别零件的剖面线。

王振铎复原，采自文献[35]

天监”。尤其值得注意的是元祐（1086～1094年）间苏颂制作的水运仪象台，它在很大程度上反映了我国古代天文仪器技术、天文学技术的最高成就。苏颂主持并参与了水运仪象台的制作，并撰有《新仪象法要》一书流传于世，其中绘有象形图和结构图，成为世界天文史、世界机械技术史上极为宝贵的资料。

据《宋史》卷四八“天文志”载，苏颂所作者，是“浑仪中设浑象，旁设昏晓，更铸激水以运之，三器一机”的大型天文仪器，它较好地把浑仪、浑象和报时三部分装置结合到了一起。整个设备以水推动，通过齿轮等的传动，使浑仪和浑象自动跟踪天体，并自动报时。仪器计分3层，全高约12米，宽7米，下层为动力装置和报时装置，中层为浑象，上层为铜浑仪观测室。依功能之不同，其有两个齿轮系：一由水轮（即枢轮）的等速回转运动，经过部分齿轮的传动，使浑



象每天等速回转1周；二由水轮的等速回转运动，经过部分齿轮的传动，使浑仪的天运环得到每天等速转1周[21][39]。经复原计算，枢轮每25秒钟落水1斗，一刻钟转1周，24小时转96周。而昼夜机轮、浑象、浑仪则24小时转1周，与天体的运转一致[40]。图6-5-7所示为苏颂《新仪象法要》卷下所载“天衡”图，它实际上是水运仪象台控制水轮匀速运转的系统。

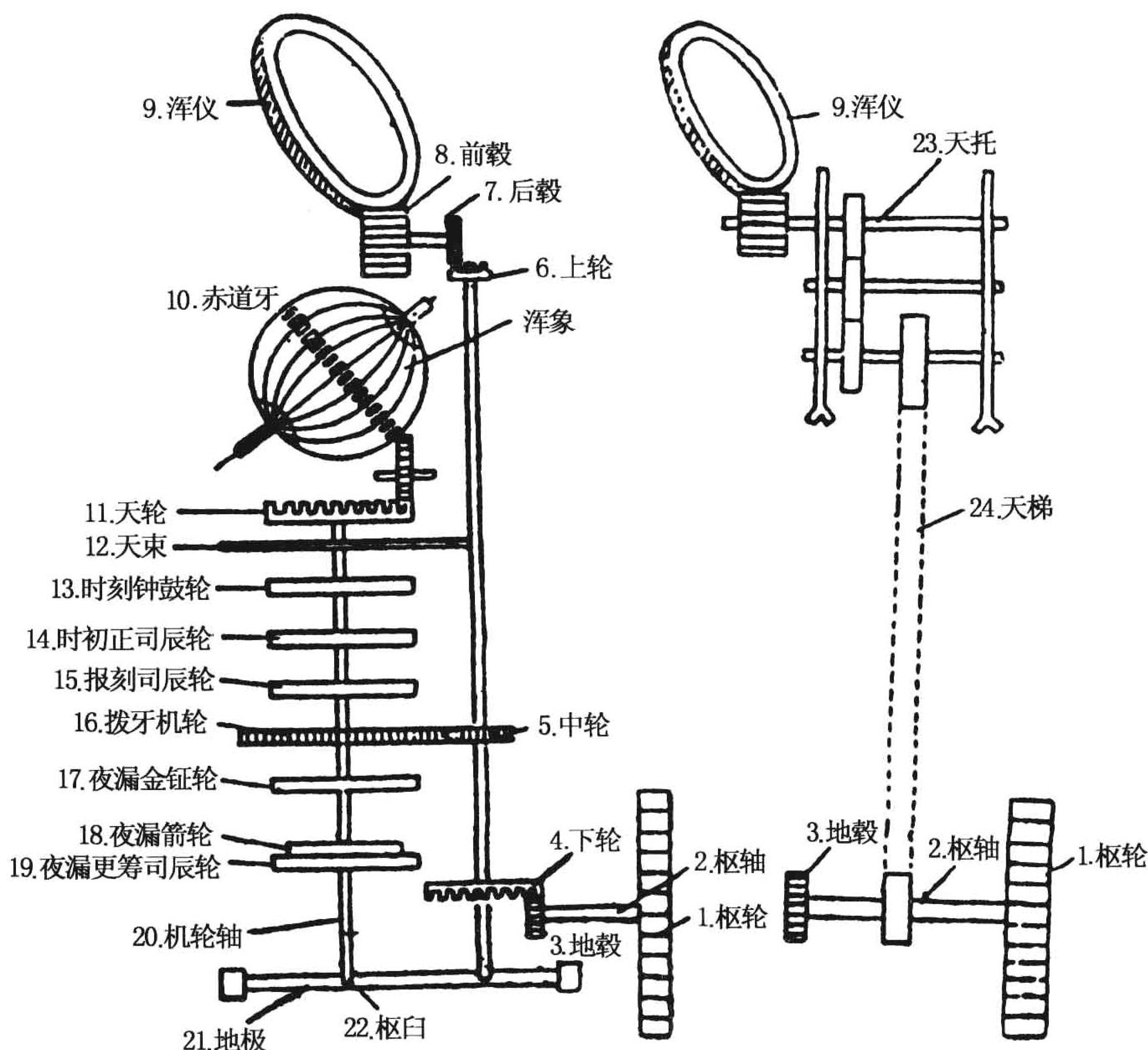



**图6-5-7 苏颂水运仪象台传动机构示意图**

采自文献[21]

南宋时期也制造过浑天仪。李心传《建炎以来朝野杂记》卷四“浑天仪”条载:“浑天仪，古器也，旧京凡四座，每座约用铜二万斤。”“绍兴三年，工部员外郎晋陵袁正功献浑仪本样，命有司制之，太史局请折半制造，计用铜八千四百余斤。”

(四) 天梯中的链传动

天梯是苏颂所作浑仪中的一个金属链传动机构。《新仪象法要》卷下载:“天梯，长一丈九尺五寸。其法以铁括联周匝上，以鳌云中天梯上毂挂之，下贯枢轴中天梯下毂。每运一括，则动天运环一距，以转三辰仪，随天运动。”此“铁括”大约就是组成铁链的链节。“每运一括，则动天运环一距”。说明其啮合得十分严密。至于此铁链是如何制作的，因记述简单而难得详知。这是较为典型的链传动机构，它的主要目的不是搬运，而是有节律地传动一个力、一种运动。其他地方

很少看到这种纯传动的金属链，诸如龙骨车等水力机械中的所谓“链传送”，与此是有差别的。这一点下面还要谈到。

（五）日历戳和齿轮传动

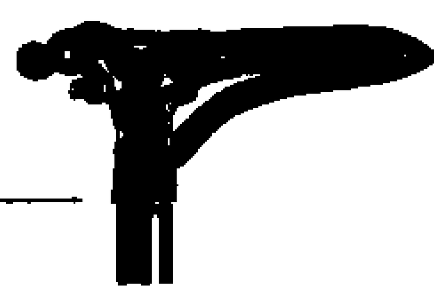
我国古代的日历戳至迟始于宋。《文献通考》卷一一五载：“（宋）景祐三年，篆文官王文盛言于少府监曰，在京粮料院印，多伪效之以摹卷历者。谓宜铸三面印；圆其制，而面阔二寸五分；于外围周匝，篆纪年及粮料院名，凡十二字。以围篆十二辰，凡十二字。中央篆正字，上连印钮，令可转旋，以机穴定之。用时，月分对年中互建十二月，自寅至丑，始终循环。每改元，即更铸之。云：若此，使奸人无复措其巧矣。少府监以奏。诏三司详定，请如文盛言。”此述显然是日历戳。其印为圆形，中心刻一个“正”字，且连印钮，令可旋转，其外共刻两圈铭文。第一圈刻十二辰，凡12字；第二圈，即印的最外圈刻年份和粮料院名。使用时，两圈铭文互相对应，互建十二月，往复无穷。改元时更铸之。在此最值得注意的是“机穴”2字，它很可能是一种齿轮状装置；“以机穴定之”，说明此“机穴”可起到一种定位的作用。

**四、造船技术之长足进步**

两宋时期是我国古代造船技术获得长足进步的重要阶段，不但船舶生产的数量较多、规模较大，而且专业化程度较高、设备较为完善，在世界上处于领先的地位。宋、元海上交通甚为发达，达到了我国历史上的一个高峰期。

宋代造船地主要分布于南方，北方的陕西、河北、山东也有较大发展。《宋会要辑稿》“食货”四六之一“水运”载，宋太宗至道（995～997年）末，诸州岁造运船3337艘；天禧（1017～1021年）末，岁减421艘[41]，其中处州605艘[42]、吉州525艘、明州177艘、婺州105艘、温州125艘、台州126艘、楚州87艘、潭州280艘、鼎州240艘、凤翔斜谷600艘、嘉州45艘。北方造船地点虽然较少，但斜谷一地的产量是不低的。当然，不同年份，造船地点及其产量仍会发生变化。南宋造船业的中心是临安、建康、平江，制造海船较为著名的是明州、泉州和广州；造船数量亦较大。《宋会要辑稿》“食货”五〇之九载，建炎二年（1128年），江湖四路仍造船2767艘。陆游（1125～1210年）《入蜀记》卷四载，武昌水军演习时，出动大舰700多艘，舰长二三十丈。

宋船载重量也有了较大提高，规模更大。在唐代，通常船舶皆如《国史补》卷下所说：“水不载万，言大船不过八九千石”。唯俞大娘船可能已达万石，但宋代则有一万二千石者。张舜民《画墁集》卷八载，他在岳州“丙戌（1106年）观万石船，船形制圆短，如三间大屋，户出其背，中甚华饰，登降以梯级。非甚大风不行，钱载二千万贯，米载一万二千石”。宋代海船规模也较大，朱彧《萍州可谈》卷二载：“甲令，海舶大者数百人，小者百余人……船舶深阔数十丈”。《岭外代答》卷六“木兰舟”云：“浮南海而南，舟如巨室，帆若垂天之云，柂长数丈，一舟数百人，中积一年粮，养豕酿酒其中……盖其舟大载重，不忧巨浪，而忧浅水也。”徐兢《宣和奉使高丽图经》卷三四“客舟”条载，宣和五年（1123年）宋朝出使高丽的客舟“长十余丈，深三丈，阔二丈五尺，可载二千斛粟”，即载重二千石。我国古代以十斗为斛，南宋末年改为五斗为一斛，两斛为一石。同行的



神舟“长阔高大，什物器用、人数，皆三倍于客舟”，载重量亦是不小的。《梦梁录》卷一二载：“海商之舰，大小不等，大者五千料，可载五六百人，中等二千料至一千料，亦可载二三百人。”此“料”与“石”相当。宋代客船的装备已较齐全，有的还较为华丽。据《宣和奉使高丽图经》卷三四载，当时客船上有廍屋，高及丈余，四壁施窗户，如房屋之制。上施栏楯，朱绘华焕，而用帘幕增饰。

古人早已意识到了木材质地对船舶寿命的影响，唐、宋造船主要采用松、杉、楠、樟、杞、梓等木材，前四者最为习见。《重修政和经史证类备用本草》卷一四引《本草衍义》云：“楠材，今江南等路造船场皆此木也，缘木性坚而善居水。”为保护海船，人们还在其外采取了防护措施。周密《癸辛杂识》续集卷上“海蛆”条载：“凡海舟，必别用大木板护其外，不然则船身必为海蛆所蚀。”

为加强海外贸易，宋廷先后在广州、杭州、明州（今宁波）、泉州、密州板桥镇（今山东胶州市）设置市舶司，在秀州华亭县（今上海松江县）、温州、江阴、秀州澉浦（今浙江海盐县）等处设置市舶务，以处理海外贸易之事。而唐朝只在广州一地设有市舶司。

宋代造船技术既较好地继承了汉、唐以来的优良传统，又有不少创新。比较值得注意的事项有如下几点：[43][44]

（一）船型设计方面

1. 对船舶的长宽比有了进一步认识，有关记载也有了增加

一般而言，船舶长宽比与材料、用途和航行水域等都有一定关系。客船、货船因皆求稳，长宽比往往较小，而稍显短粗；战船常求迅速，长宽比往往较大，而稍显细长。海上因风高浪急，海船的长宽比一般稍小；内河因风浪较小，长宽比可以稍大。古船因以木材制作，抗压强度较低，长宽比一般较今船为小。在同一时代，战船皆较客船、货船细长；在不同时代，今船当较古船细长[44]。张舜在岳州看到的万石船“形制短圆”，朱彧在广州看到的海船“形如方斛”，长宽比都较小。《宋会要辑稿》“食货”五〇之二二载，宋孝宗乾道五年（1169 年），明州造八百料四十二桨海战船，长 8 丈 3 尺，阔 2 丈，长宽比达 4.15。可见这长宽比有了增加。同书“食货”五〇之八载有轻便快速的魛鱼船，长 5 丈，宽 1 丈 2 尺，长宽比为 4.17。同书“食货”五〇之三二载嘉泰年间池州造海鹘船，身长 10 丈，宽 1 丈 8 尺，11 舱，长宽比 5.56。长宽比更大了一些。今世学者或谓古船皆较短粗，或谓皆较细长，都是不够全面的[43]。古船实际上既有短粗者，也有稍见细长者。此海鹘船也是一种轻便战船。《武经总要》“前集”卷一一载：“海鹘者，船形头低尾高，前大后小。如鹘之形，舷（“四库”本作“船”）上左右置浮板，形如鹘翼翅，助其舡，虽风涛涨而无侧倾。”

2. 车船技术得到了更大发展

车船始见于南朝，成熟于唐，兴盛于宋后，宋代在长沙和两浙路等地都曾制作。李纲（1083～1140 年）《梁溪集》卷二九载：“长沙有长江重湖之险，而无战舰水军。余得唐嗣曹王皋遗制，创造战舰数十艘，上下三层，挟以车轮，鼓蹈而前。”并以此成五首绝句，其一云：“车船新制得前规，鼓蹈双轮势似飞；创物从来因智者，世间何事不由机”。宋代利用车船作战，影响最大的应是与杨么领导的义

军之战，由建炎四年（1130 年）至绍兴五年（1135 年）间，义军和官军都建造了不少车船，且规模皆较大。《老学奄笔记》卷一载："官军战船亦仿贼车船而增大，有长三十六丈，广四丈一尺，高七丈二尺五寸。"依前法折合今制，此船则长达100 多米。车船因速度较快，且机动灵活，故深受宋人重视。《宋会要辑稿》"食货"五〇之一五载，绍兴四年二月，枢密院张浚言：鼎州"知州程昌禹造下车船通长三十丈或二十余丈，每支可容战士七八百人，驾放浮泛往来可以御敌"。绍兴四年五月，两浙转运副使吴革言："江浙诸州军打造九车十三车战船，以备控扼，缓急遇敌追袭掩击须用轻捷舟船相参使用，今做湖南五车十桨小船样制"。

一般而言，我国古代船舶的推动力主要是人力和风力，人力通过桨、橹、车（轮桨）的传递便可达到推进的目的。但这种推动方式，往往是综合使用的；如车、桨兼用，车、橹兼用，或橹、桨兼用的；而桨、帆兼用，橹、帆兼用，车、帆兼用，桨、橹、帆，或者车、橹、帆兼用的事例亦不乏见。

3．尖底船技术有了发展

尖底船可能唐代便已发明，但有关实物和更为明确的记载却是到了北宋才看到的。1979 年，宁波东门码头遗址发掘出一艘尖头、尖底、方尾的三桅外海船，残长 9.3 米、残高 1.14 米、最宽处 4.4 米，上部结构已经朽坏，但底部，船体壳板与抢梁肋骨、龙骨仍结合在一起，且保存较好，至龙骨后部已经残断，残长7.34 米，估计全长大于 10 米。伴出物有五代至北宋瓷器和乾德（963～968 年）元宝 1 枚[45]。这是我国今见最早的单龙骨尖底船实物。

北宋晚期时至南宋时，尖底船技术便更广地使用起来。《宣和奉使高丽图经》卷三四"客舟"条说，当时福建、两浙的海上贸易船长十余丈，深三丈，"上平如衡，下侧如刃，其贵可以破浪而行"。此"上平如衡，下侧如刃"，显然是尖底船。"宣和（1119～1125 年）"为北宋徽宗年号。这是我国古代关于尖底船较早且较为明确的记载。

《宋会要辑稿》"食货"五〇之八载：高宗建炎元年（1127 年）七月，"尚书省言，濒海沿巡检下鱽鱼船可堪出战，式样与钱塘、扬子江鱽鱼船不同，俗又谓之钓槽船；头方小，俗谓䢢浪斗，尾阔可分水面敌，可容人兵，底狭小如刀刃，状可破浪"。时为南宋初年。鱽鱼，带鱼之俗称。可见，鱽鱼船也是一种尖底船，但战用鱽鱼船与钱塘扬子江鱽鱼船又有一定差别。因尖底船吃水较深，抵御风浪能力较强，船舶稳定性更好，故可破浪而行。

《宋会要辑稿》"食货"五〇之一八载：绍兴二十八年，福建安抚转运司言："准指挥令两司共计置打造出战鱽鱼船一十只，付本路左翼军统制陈敏水军使用，契勘鱽鱼船乃是明州上下浅海，去处风涛低小，可以乘使。如福建、广南，海道深阔，非明海洋之比，迄依陈敏水军见管船样造尖底海船六只，每面阔三丈，阔三尺，约载二千料，比鱽鱼船数已增一倍，缓急足当十舟之用"。此进一步谈到了尖底船的长处。文献记载之多，说明了尖底船技术已相当发展。

（二）施工技术方面

1．使用了修船坞

《梦溪笔谈》补卷下载："国初两浙献龙船长二十余丈……岁久腹败。欲修治，





而水中不可施工。熙宁（1068～1077年）中，宦官黄怀信献计，于金明池北凿大澳，可容龙船，其下置柱，以大木梁其上，乃决水入澳，引船当梁上，即车出澳中水，船乃于空中。完补讫，复以水浮船，撤去梁柱，以大尾蒙之，遂为藏船之室，永无暴露之患。”这是世界上利用船坞修船的最早记载。

2. 使用了滑道下水法

《金史》卷七九“张中彦”传载，正隆（1156～1161年）时，张中彦曾主持在黄河上架设浮桥并造船，“浮梁巨舰毕功，将发旁郡，民曳之就水。中彦召役夫数十人，治地势顺下倾泻于河，取新秫秸密布于地，复以大木限其旁，凌晨督众乘霜滑曳之。殊不劳力而致诸水”。

3. 造船过程中采用了二重板、三重板技术

泉州后渚发掘出一艘宋代海船，残长24.2米，宽9.15米。船为尖底，头尖尾方。而且依木材性质，视不同部位的不同需要，使用了不同材质的木料组合[46]。舷侧和船底分别为三重和二重木板结构，船板上下左右之间多采用榫合和参钉、吊钉连接工艺。其舷侧板三重的总厚度便达18厘米（里重8、中重5、外重5）[47]；这不但便于弯板加工，而且还会提高板件的强度和耐蚀能力。这些重板加工精细，贴合紧密，表现了相当高的技术水平。

4. 水密分舱技术普遍推广开来

此技术约发明于唐，推广于宋、元，宋代水密分舱实物今在许多地方都可看到。1960年扬州施桥镇出土宋代大木船和独木舟各1艘，前者残长18.4米，船艄部分已经破坏，从残存情况看，约可分为5个大舱和若干个小舱。隔舱板与船舷是榫接的，隙缝用油灰填塞[48]。1978年上海嘉定县出土南宋木船1艘，残长6.23米（约为全长的2/3），船头呈方形，残存7舱；舱壁板厚约5厘米[49]。1978年天津静海县元蒙口村发现北宋末年木船1艘，船体近似长方形，长14.62米，方头，平底，13舱[50]。此外，1979年宁波发现的宋船残存6舱[45]。1974年泉州湾后渚港出土宋代木构海运货船1艘，复原尺寸为：船长30米，水线宽10.2米，型深5米，吃水3.75米。分成13舱[47][51]。1982年泉州法石乡发掘的南宋古船，在已清理部分中发现4舱[51]。可见在已发现的6艘宋船中，不管河船还是海船，皆已分舱。泉州、宁波、嘉定等处古船都可看到明显的过水眼，其设于舱壁的低处，使积水或渗漏水汇集到最低处。当一舱漏而堵塞过水眼后，其他舱可免受影响。

此期文献上也有了水密舱的明确记载。《宣和奉使高丽图经》卷三四“客舟”条载，宣和五年（1123年）遣使高丽的客舟“长十余丈”，“前一仓不安艎板”，“其次一仓装作四室；又其后一仓谓之㢑屋”。《宋会要辑稿》“食货”五〇之三二至三三载，嘉泰三年（1203年）打造海鹘船一只一千料，船身通长“一十丈”，计一十一舱。铁壁铧嘴船一只四百料，船通长“九丈二尺”，计一十一舱。可见宋代的河船和海船都普遍地采用了水密舱结构。

5. 为了船舶的牢固和密封，宋船的舱缝工艺也都相当出色

泉州宋船的板缝和榫隙是采用麻丝、竹茹与桐油灰捣拌成的舱料来密封的[47]。

6. 造船工艺的设计过程更为科学

一般皆须先绘图，或先造小样，之后再施工；建造形式较为新颖或者结构较

为复杂的船舶时，大凡都要先作模型，后再依比例放大、施工[52]。

《宋史》卷三七九“张譻传”载，张譻“知处州，尝欲造大舟，幕僚不能计其直。譻教以造一小舟，量其尺寸而十倍算之”。这就提高了船舶单件或者批量生产的效率，降低了成本，保证了产品质量。这种先做小样的方法，除造船业外，张譻还把它用到了其他行业中。“又有欲筑绍兴园神庙垣，召将计之，云费八万缗，譻教之。自筑一丈长，约算之，可直二万。即以二万与匠者。”

《金史》卷七九“张中彦传”也有类似的记载：金正隆年间（1156～1161年），彰德军节度使张中彦奉命督造战船。“舟之始制，匠者未得其法，中彦手制小舟才数寸许，不假胶漆而首尾自相钩带，谓之‘鼓子卯’，诸匠无不骇服。其智巧如此。”西方是到了16世纪才出现简单船图的。

《宋会要辑稿》“食货”五〇之八载，高宗建炎元年，“知扬州吕顺浩言：沧州并滨州一带，与北界地形隣接，最系要害去处，理宜措置合用魛鱼战船，已行画样颁下州县”，随宜改造。《宋会要辑稿》“食货”五〇之一八载：绍兴二十八年，福建安抚转运司言:“魛鱼船乃是明州上下浅海，去处风涛低小，可以乘使。如福建、广南，海道深阔，非明海洋之比，迄依陈敏水军见管船样造尖底海船六只”。这都提到了依船样造船。

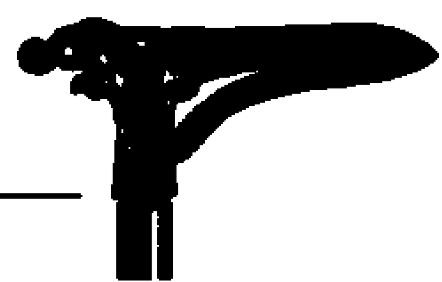
（三）操纵技术和航海性能方面

1．船舵技术有了多方面的进步

发明和发展了平衡舵。平衡舵是人们为减小水对舵的作用力矩，使操舵轻便灵活而发明出来的。做法是把舵轴由舵前端向后端移动少许，缩短舵面水压力中心与舵轴的距离，以降低转舵力矩。1978年，天津静江县元蒙口出土的宋船上发现一件平衡舵实物[50]，这是迄今所见年代最早，而且保存较好的平衡舵实例，其平衡面积比约为10%。[53][54]

学术界对平衡舵的发明时间尚无一致意见，有人将之推到了五代至北宋初年[38]，依据是古画《雪霁行江图》、《江天楼阁图》，以及《清明上河图》等都显示过它的形态。《雪霁行江图》的作者是郭忠恕（？～977年），生于后周广顺中；宋太宗时，召为国子监主簿。《清明上河图》为北宋晚期张择端所绘。也有学者认为平衡舵应始于唐[55]，理由是北宋官修《武经总要》（成书于1044年）中的楼舡、海鹘等船上均有较为原始的平衡舵形态，舵叶呈四边形，上宽下窄，舵的高度较小；而海鹘船在唐代已经使用了很长一个时期。此两说皆有一定道理，可以进一步研究。元时，平衡舵有了进一步发展，1975年，河北磁县漳河故道附近出土6只元代木船，皆残，方头平底，分为数舱；其中5号船最大，残长16.6米，11舱；也有平衡舵，三角形舵叶的平衡面积比为20%。现代舵叶的平衡面积比为20%～30%，可见元代舵叶平衡面积与现代已无多大差别。[55][56]在西方，直到18世纪尚未看到这种装置。

使用了升降舵。其目的是依据水的深浅来调节舵的高低，停泊时还可将之吊起，以提高舵的功效。这样，船行浅水时，把舵提高，使之得到了保护；船行深水时，将之降到船底之下，使其免受船尾水流涡漩的影响，同时可抗横漂。舵之升降通过滑轮系控制。北宋张择端《清明上河图》中便绘有升降平衡舵的图像。



今见最早的升降舵实物属北宋时期。1974 年泉州湾后渚港出土 1 艘海船，其中便有升降舵；其舵承座由 3 块大樟木构成，又用两重樟板加固于承座背面；舵承座板残长 3.44 米、残高 1.37 米、宽 0.44 米；附加樟板厚 20 厘米。在一个舱内还保存一樟木的绞车轴残段，残长 1.4 米，直径 35 厘米。轴身凿有两个直径为 13 厘米的圆通孔，当是绞棒孔。此绞车轴应是起舵用的绞关构件[51]。

使用了副舵及三副舵。宋后之大船往往不止一舵，有的设有大小两个主舵，依水之深浅交替使用；有的还设有副舵，以作备用。《宣和奉使高丽图经》卷三四"客舟"条说：前往高丽的客舟"之后有正柂大小二等，随水浅深更易，当廲（艉甲板）之后从上插下二棹，谓之三副柂，唯入洋则用之"。此"柂"即是舵。一些日本学者也曾提到赴日的宋船使用三副舵的情况[57]。此"三副舵"是不能转动的，只为减少舵行中的横漂。

发明了开孔舵。开孔舵即在舵叶上开了许多孔洞之舵，因其能使舵叶两边的水流相通，减少了涡流的影响，从而减小了转舵所费之力，对舵的功效却影响甚微。这种舵的发明期尚待研究，有学者说其发明于宋、元之交[55]，也有人认为其发明于唐；后说的主要依据是广州市博物馆陈列的唐船模型的开孔舵[58]。平衡舵多用于内河航运，开孔舵多用于海洋船舶。中国帆船的开孔舵曾使西方海员为之吃惊，西方是 20 世纪初才采用的。

2. 设置了防摇装置

据报道，宁波宋代海船[45]两边船舷的第七和第八外壳板接缝处，各有一根截面为 140 毫米 ×90 毫米的半圆形纵向长木，残长 7.1 米，用两排间隔为 40～50 厘米的钉子固定在船壳板上；此半圆木远在舷边之下，正处在船的舭部，即使空载，也不会露出水面来，当非一般护舷木；其作用应与现代船舶中经常运用的舭龙骨，即减摇龙骨相当；船舶在风浪里做横摇运动时，它会起到减缓船舶摇摆的作用[59][60]。在欧洲，此技术约见于 19 世纪 30 年代。

文献上也有类似的记载。《宣和奉使高丽图经》卷三四"客舟"载："于舟两旁，缚大竹为橐以拒浪。装载之法，水不得过橐，以为轻重之度。"这样，便可增加船体在风浪中的稳定性。

3. 使用了较大的铁锚

在字书中，"锚"字虽见于《玉篇》，但关于铁锚的明确记载和实物资料，却是到了宋、金时期才看到的。周密《癸辛杂识》续集卷上"栅沙武口"载，南宋末年，宋、元水师战于沙武口，宋将夏贵"搭船三百只，左右前后皆置棹，先以棹迎之，俟彼船出口子，即以铁猫(锚)儿固定，复回棹。拽其船以归"。同书同卷"海蛆"条：元代初年，往来于张家浜、盐城间的海船，"其铁猫(锚)大者重数百斤，尝有舟遇风下钉，而风怒甚，铁猫(锚)四爪皆折，舟亦随败"。这是今见文献中，关于使用铁锚的较早记载。今见最早的铁锚实物属于金代，1975 年，吉林市郊区发掘出一个金代窑藏文物坑，其中有 19 件铜器、37 件铁器，内有 1 件铁锚；锚高 22.5 厘米，三齿，环周均布，锚柄呈方柱形。据推断，这批文物的年代当在 1119～1171 年，相当于北宋末、南宋初年[61]。

此外还使用了游碇。当船舶在风浪中作横向及纵向摇摆时，游碇可增加对摇

摆的阻尼作用。《宣和奉使高丽图经》卷三四“客舟”载:“若风浪紧急，则加游碇，其用如大碇。”

4. 帆樯的设计和驶风技术有了改正

《宣和奉使高丽图经》卷三四“客舟”载:“风正则张布飒（帆）五十幅，稍偏则用利篷，左右翼张，以便风势。大樯（桅）之巅，更加小飒（帆）十幅，谓之野狐飒(帆)，风息则用之。然风有八面，唯当头风不可行……大抵难得正风，故布帆之用，不若利篷翕张之能顺人意也。”即除篾制硬帆（利篷）外，还使用了软帆（布帆），将帆转向左右两舷之外，便可获得最大风力。在正帆之上复加小帆，即野狐帆，以便风正时使用[62]。

此外，加野狐帆后，可借风势劈浪前进，这是改善其抵御风浪能力的有效措施[62]。《宣和奉使高丽图经》卷三四“半洋焦”条对此有过较好的描述:“舟行过蓬莱山之后，水深碧色如玻璃，浪势益大。洋中有石，曰半洋焦。舟触焦则覆溺，故篙师最畏之。是日午后，南风益急，加野狐飒，制飒之意，以来浪迎舟，恐不能胜其势，故加小飒于大飒之上，使之提挈而行。”

5. 船上设有深水铅锤，以测水深，预防搁浅

《宣和奉使高丽图经》卷三四“黄水洋”条:“故舟人海，以过沙尾为难，当数用铅时，其深浅不可不谨也。”

6. 最早把指南针用到了航海事业上

有关指南针之事，后面还要谈到。

## 第六节　造纸技术趋于成熟

两宋是我国古代造纸技术的成熟期，造纸原料在继续使用麻、树皮、竹的同时，又大量地使用了麦秆、稻秆等纤维。在制浆工艺中，使用了水碓捣浆，出现了关于“纸药”的明确记载，此时不但生产了大量普通用纸，最大限度地满足了书籍印刷和日常事务之需，而且生产了一些白度较高且具有特殊性能的加工纸，其中尤其是巨幅匹纸和绘画用纸。宋代不但名纸迭出，而且还出现了关于纸的专著，使我国造纸、用纸技术都进入了一个新的历史时期。当时造纸技术水平较高的大约是江南和四川两处。国家对造纸业也较重视，《金史》卷五六“百官志二”载：金代在户部下设有“抄纸坊”，但级别都较低，“使从八品，副使正九品，判从九品”。原注:“大安二年以‘印造钞引库’兼，贞祐二年复置，仍设小都监二员。”

造纸术、印刷术、火药、指南针，是我国古代的四大发明。前者约发明于汉，雕板印刷约发明于南朝，火药、人工磁化的指南针约发明于唐，活字印刷是到了宋代才出现的。可见在宋代，举世著称的四大发明便基本形成。造纸和印刷术的发明和传播，加速了世界文化的交流；指南针的发现和传播，导致了世界地理的大发现；火药的发明和应用，则无情地打开了锁国时代的大门。它们都有力地推动了世界文明的进程，在世界文明史上占有特殊重要的地位。

### 一、造纸原料之扩展

苏易简曾在《文房四谱·纸谱》(986 年成书）中对宋代各地造纸原料作了较



好的概括："蜀中多以麻为纸，有玉屑、屑骨之号；江浙间多以嫩竹为纸，北土以桑皮为纸，剡溪以藤为纸，海人以苔为纸。浙人以麦麹（茎?）、稻稈（秆）为之者脆薄焉。以麦膏（藁）、油藤[纸]为之者尤佳。"南宋袁说友《笺纸谱》则强调了皮纸在全国纸业中的重要地位："今天下皆以木肤为纸，而蜀中乃尽用蔡伦法。笺纸有玉版，有贡余，有经屑，有表光。玉版、贡余，杂以破布、破履、乱麻为之，惟经屑、表光，非乱麻不用。"又说："广都纸有四色：一曰假山白，二曰假荣，三曰冉村，四曰竹丝，皆以楮皮为之。"[1]与前代相比较，宋代造纸原料的主要特点是较多地使用了竹料和草料。

（一）竹纸的兴起

我国古代竹纸至迟发明于唐，宋代便普遍推广开来，除上引《文房四谱·纸谱》外，苏轼（1037～1101年）《东坡志林》卷九亦载："今人以竹为纸，亦古所无有也。"此说宋代产竹纸，并说"古"，或指唐前无竹纸。

宋代竹纸主要产于江浙一带，直至北宋早期，其质量依然欠佳，易于撕裂。《文房四谱·纸谱》又说："今江浙间有以嫩竹为纸，如作密书，无人敢拆发之，盖随手便裂，不复粘也。"北宋晚期之后，质量才有了提高。米芾（1051～1107年）《书史》说："予尝硾越竹（纸），光滑如金版，在油拳上，短截作轴入笈番覆，一日数十张，学书作诗。"[2]说明越州竹纸的质量已超过了古老的油拳纸。南宋陈槱《负暄野录》卷下说："今越之竹纸甲于他处。"并说"吴人取越竹，以梅天水淋，晾令干，反复捶之，使浮茸去尽，筋骨莹彻，是谓春膏，其色如蜡。如以佳墨作字，其光可鉴，故吴笺近出，而遂与蜀产抗衡。"[3]施宿等《（嘉泰）会稽志》卷一七"草部·纸"条在谈到会稽竹纸时说它有五大优点："工书者独喜之。滑，一也。发墨色，二也。宜笔锋，三也。卷舒虽久，墨终不渝，四也。惟不蠹，五也。"[4]此五点中，前四点评价都是十分得体的，唯第五点有些夸张，因在诸品纸之中，竹纸最易受蠹。但不管怎样，越州竹纸质量当时已达一定水平。

随着生产技术的发展，竹纸也出现了不少名牌产品。《（嘉泰）会稽志》卷一七"纸"条载："（会稽）今独竹纸名天下，他方效之，莫能仿佛，遂掩藤纸矣。竹纸上品有三：曰姚黄、曰学士、曰邵公，三等皆佳……自王荆公好用小竹纸，比今邵公纸尤短小，士大夫翕然效之。建炎、绍兴以前，书柬往来率多用焉。"[4]看来，这三种"上品"纸应是书写诗词、信札的小幅笺纸。该书接着谈到了米芾捶越州纸后说："学书前辈，贵会稽竹纸，于此可见。"[4]

今日所见宋代纯竹纸有：故宫博物院藏米芾《珊瑚帖》、宋人所摹王羲之《雨后帖》、王献之《中秋帖》等。竹麻混合纸有：故宫博物院珍藏的米芾《公议帖》、《新恩帖》等；竹料与楮皮混合纸有：米芾《寒光帖》等[5]。

竹料富含纤维，其纤维细胞的含量约占细胞总面积的60%～70%[6]。造纸原料由麻扩展到树皮是个进步，由麻和树皮扩展到竹是个更大的进步，所以竹纸的出现和推广是具有划时代意义的事件。汉代之后，麻纸一直占据统治地位；晋至唐代，藤纸一度盛行；宋、元之后，麻纸有所衰退，藤皮纸渐被淘汰，竹纸因质量较好，原料来源较广，竹纸和树皮纸在宋、元两代都占有重要的地位。西方竹纸大约是19世纪才出现的。1875年，一个名叫劳特里奇（Thomas Routledge）的

英国人写了一本关于以竹造纸的小册子，且用竹纸印刷出版了此书，这大约是西方较早的竹纸。

（二）草纸的发明和发展

有人认为我国草纸应始于唐[7]，但有关记载较少或不太明确，到了宋代，便更加明确起来。

前引北宋苏易简《文房四谱·纸谱》载："浙人以麦麹（茎?）稻稈（杆）为之者脆薄焉。以麦膏（藁）、油藤［纸］为之者尤佳。"这是世界上关于草类纤维纸较早且较为明确的记载。草纸的出现，进一步扩大了造纸原料的来源。西方草纸大约是1857～1860年在英国用西班牙草制成的。

（三）棉花纤维之用于制浆

1992年，宁夏贺兰县出土了数十种西夏（1038～1227年）文献[8]，本章第四节谈到，有学者对其中的7件纸样进行了科学分析，其中3件的原料为构树皮，4件为破布。在破布纸样中，1件为苎麻和大麻，1件为大麻和亚麻，2件，即编号分别为"3甲"、"3号"的《吉祥遍至口和本续》封皮，皆为棉破布和大麻破布混合浆。这是迄今所见最早的棉花纤维的纸制品[9]。

其实，西夏棉花纤维纸人们早已发现。20世纪初期，西方探险家曾窃走过许多西夏文物；1966年，前苏联学者曾对藏于圣彼得堡的10件西夏纸标本作了科学分析，其纸浆大体上是3种类型：（1）亚麻和棉破布浆；（2）棉破布浆；（3）含有大麻纤维杂质的亚麻破布浆[10]。这都是世界上最早的一批棉花纤维纸。

在西夏纸样分析中我们还可看到，不管是麻还是树皮，这些原料都经过了切断、净化等较好的预处理，纸样的尘埃度很小，纤维平均长度只有3毫米左右[9]。

当然，从全国范围看，此期造纸原料依然是以麻为主的。据说斯坦因在黑水城获得过约48种西夏文书，几乎都是黄麻纸，有的甚薄，纸质甚佳，有的曾经多层焙干或裱褙[11]。各种树皮纸此时仍在使用，如马可·波罗曾于1274～1279年时在元朝为官，他便记述过汗八里（今北京）用桑皮造纸的工艺[12]。时为南宋末年，但亦入元代纪年，有关情况下章再谈。

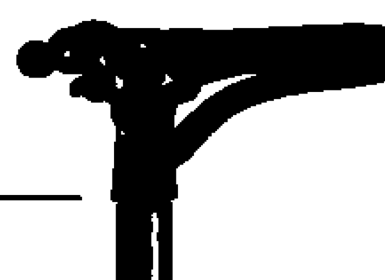
（四）故纸的回收和还魂纸的使用

我国古代关于回收故纸，生产再生纸的记载始见于明宋应星《天工开物》，但从实物资料看，还魂纸技术至少可上推到北宋时期，今人在分析北宋乾德五年（967年）写本《救诸众生苦难经》、南宋嘉定（1208～1224年）江西刻本《春秋繁露》时都发现了其中杂有未曾捣碎的故纸。说明北宋已经有了回收故纸的做法[13]。当然，生产还魂纸时，必须掺入适量新纸浆，而不宜纯用故纸，否则纸的强度便会受到影响。

总之，宋代造纸用原料主要是树皮和麻类，但竹类也呈快速上升之势，并占有了重要的地位。

**二、制浆和抄纸技术之提高**

在此尤其值得注意的有三个方面：一是使用了水碓捣浆；二是出现了关于纸药的明确记载；三是出现了更多的巨幅纸。



（一）水碓的使用和打浆技术的发展

我国古代水碓捣米技术约发明于西汉时期，魏晋便逐渐推广开来。但文献上关于水碓打浆的明确记载却是到了南宋才看到的。南宋庆元间（1195～1200 年）袁说友《笺纸谱》载："以浣花潭水造纸故佳，其亦水之宜矣。江旁凿臼为碓，上下相接。凡造纸之物，必杵之使烂，涤之使洁。"[1] 由这段记载看，宋代曾用水碓打浆是肯定无疑的。水碓的使用，节省了人力，提高了功效，对纸张产量和质量的提高都具有重要的意义。

从科学分析看，此期制浆和抄纸技术已更加成熟。如其沤煮制浆技术已使用得更为普遍，1999 年人们分析的 7 件西夏纸样中，都发现了石灰和草木灰制浆的迹象，这对于提高浆料白度和纤维分散度都具有重要的意义。西夏纸料亦舂捣适度，经测定，打浆度都在 30～40°SR 之间。均匀度亦较好，很可能已掌握了良好的匀浆技术。西夏纸帘纹细小、平直、均匀、清晰，每厘米多为 7 条，当为竹帘抄制，抄纸技术较高[9]。其中，《吉祥遍至口和本续》（以下简称"本续"）的正文纸色泽较白，近于一般生白布色调；纸质均匀细平，不见明显粗大的纤维束；正面平滑度较好，有明显的帘纹，纹路较直，宽约 1 毫米；帘纹数约每厘米 7 条。经测定，纸页厚 0.13 毫米，纸重 30 克/米$^2$。用显微镜观察时，纤维较宽，壁上有明显的横节纹；用碘氯化锌试剂染色后呈酒红色，判定为苎麻及大麻纤维。打浆度约 40°SR，纤维平均长度 3.17 毫米，宽 25.2 微米。在扫描电镜能谱下，纤维表面均匀地附着一层胶质状物，说明抄纸过程中使用了纸药。能谱分析时，显示的钙、钾量皆较高，说明原料制备过程中曾用石灰和草木灰处理，因此纤维较白。经分析，"本续"封皮纸的原料为白净的棉和麻破布，经过了剪切、打浆、低浓分散解离，并加入了淀粉。纸页两面平滑度相差较小，纤维束较少；曾经入潢处理（黄柏汁染色），其作用一是染黄，二可防蛀。其中的"西夏文长卷"原料为大麻和亚麻破布，虽打浆帚化程度不高，但纸质较为细薄，匀度较好，白度约 30%，纸重约 20 克/米$^2$，当为细竹帘抄造[9]。

（二）关于纸药

"纸药"是造纸过程中用于防止纸浆纤维粘结的植物浆液。"纸药"之名始见于明，宋应星《天工开物·杀青》条说："竹麻已成，槽内清水浸浮其面三寸许，入纸药水汁于其中（原注：形同桃竹叶，方语无定名），干自成洁白"。这是我国古代文献中，最早提到"纸药"一词的地方。纸药发明于何时，学术界尚无一致看法，有东汉说，有唐代说，但较为明确的记载却是到了宋代才看到的。宋周密《癸辛杂识》续集卷下"撩纸"条载："凡撩纸必用黄蜀葵梗叶，新捣方可以撩。无则占粘，不可以揭。如无黄葵，则用杨桃藤、槿叶、野葡萄皆可，但取其不粘也。"此"黄蜀葵梗叶"显然是纸药。使用它的目的是"取其不粘也"，粘则"不可以揭"。除了黄蜀葵外，宋人还使用了杨桃藤、槿叶、野葡萄等作为纸药。关于纸药的防粘作用，清代《临汀汇考》说得更为简单明白："羊桃生山中，造纸者取枝叶捣汁以分张，备物致用，缺一不可"。从传统工艺看，一般纸幅较大，打浆帚化程度较高者，都必须添入纸药；而那些薄如蝉翼、韧如缣帛的长纤维薄型原纸，如油印蜡纸原纸等，所需纸药量尤多[14]。

除了防粘外，纸药还有两个作用：（1）作悬浮剂，使纸浆中的纤维悬浮分散，以便均匀成型；（2）保护压榨，使湿纸免于"压花"，不为浆水冲破[14]。如前所云，纸药既可掺入纸浆中，亦可作为浸润剂，用于捶纸工艺中。

在此有一点需指出的是，淀粉浆是不能作为纸药使用的，因其与纸药的性质有着完全不同的一面，虽两者都有悬浮作用，但纸药是防粘的，淀粉却带粘性。显然，若手工抄纸使用了淀粉剂，湿纸将更难分张[14]。

关于纸药的悬浮作用，人们进行过许多研究，一般认为它主要是改变了水的表面张力。如黄蜀葵汁和水后其分子便呈现网状结构，这对溶液的表面张力和悬浮性能都有明显的影响。纤维比重大于水，若无悬浮剂，纸浆虽经搅拌，也难免有部分纤维沉于槽底，以至缠绕成束，聚集成团，使抄出之纸厚薄不均[15]。试验表明，这种粘液的稠度、网目数，都会随着存放时间之延长和温度的升高而下降。

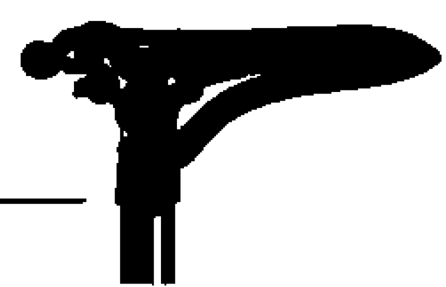
（三）巨幅纸的出现

明文震亨《长物志》卷七说：宋"有匹纸，长三丈至五丈；有彩色粉笺及藤白、鹄白、蚕茧等纸"。屠隆《纸笔墨砚笺》说：宋"有匹纸，长三丈至五丈，陶谷家藏数幅，长如匹练，名鄱阳白"。"匹"原是布帛类织物的量名。《汉书·食货志下》说："布帛广二尺二寸为幅，长四丈为匹。"宋陶谷《清异录》卷下"鄱阳白"条载："先君子蓄纸百幅，长如一匹绢，光紧厚白，谓之鄱阳白。问饶人云，本地无此物也。"宋代匹纸至今仍可看到，辽宁省博物馆今藏南宋赵佶草书《千字文》，长三丈余，其间并无接缝，纸上朱地描以泥金云龙纹图案。故宫博物院今藏南宋法常（1176～1239年）《写生蔬果图卷》，原是白色精细的皮纸。明人沈周在此图的跋中说："纸色莹洁，一幅长三丈有咫，真宋物也。"经测量，此画高达47.3厘米，横长达814.1厘米[16]。从有关实物看，宋1尺约相当于今制之31～32厘米[17]，依此，此画横长便相当于宋制二丈六尺左右。巨幅匹纸的出现充分说明了宋代抄纸设备、抄纸技术都有了较大进步。

苏易简《文房四谱·纸谱》曾对匹纸的抄造工艺作过简要的描述，说："黟、歙间多良纸，有凝霜、于（澄）心之号。复有长者，可五十尺为一幅。盖歙民数日理其楮，然后于长船中以浸之，数十夫举抄（帘）以抄之；傍一夫以鼓而节之；于是以大薰笼周而焙之。不上于墙壁也。由是自首至尾，匀薄如一。"可见，这匹纸在宋代多产于今皖南的黟、歙一带；抄纸是在长船式水槽中进行的；需数十人执纸帘，一人击鼓指挥，协同进行。关于纸帘的情况苏氏不曾提及，人们推测应是以较为细长的竹条以丝拼接而成。

对于这种巨幅纸的抄造工艺，清人纳兰性德《渌北亭杂识》曾对此发表过许多赞叹："古人造纸，奇技绝艺，实有不可以常理论者。余尝举此询之老年纸工，据云闻诸前人，造甚长之纸，宜用阔帘趁出水未干时陆续衔接而成，非一器所能就，理或然也。"

除此工艺外，有的巨幅纸还使用过粘接法。元陶宗仪《辍耕录》卷二九"粘接纸缝法"条载："王古心《笔录》内一则云：青龙镇隆平寺主藏僧永光，字绝照，访予观物，斋时年已八十有四。话次因问光：'前代藏经，接缝如一线，日久不脱，何也？'光云：'古法用楮树汁、飞面、白芨末三物调和如糊，以之粘接缝，



永不脱解。过如胶漆之坚。'" 说明宋代已有粘结能力较好的糊料配方。这种接缝技术当发明较早，据说敦煌藏经洞的写经纸中就有接缝的。

**三、品种繁多的名纸及其技术特点**

宋纸的生产规模、分布地域比唐代都有了较大扩展，品种和质量亦有了较大增加。宋纸名目繁多，有的以原料或产地命名，有的以加工状况命名，有的则完全是一种美喻，明代屠隆《纸墨笔砚笺·纸笺》云:"宋纸：有澄心堂纸，极佳；宋诸名公写字及李伯时（李公麟）画，多用此纸……有歙纸，今徽州歙县地名龙须者，纸出其间，光滑莹白可爱。有黄白经笺，可揭开用之。有碧云春树笺、龙凤笺、团花笺、金花笺。有匹纸，长三丈至五丈，陶谷（903～970 年）家藏数幅，长如匹练，名鄱阳白。有藤白纸、观音帘纸、鹄白纸、蚕茧纸、竹纸、大笺纸。有彩色粉笺，其色光滑，东坡、山谷（黄庭坚）多用之作画、写字"。这里谈到了多种宋代名纸，其分类方法各不相同。明张应文《清秘藏》卷上"论纸"条载："(宋有) 藤白纸、研光小本纸、蜡黄藏经纸（原注：有金粟山、转轮藏二种)、白经笺、鹄白纸、白玉版纸、蚕茧纸。" 这又是另一种分类法。宋代的正史和方志中也谈到过不少的名纸。《宋史·地理志》说徽州府贡白苎纸、池州红、白纸；成都府贡笺纸。淳熙《新安志》(1173 年) 卷二"贡纸"条说宋代新安"贡表纸、麦光、白滑、冰翼纸"。宋代浙江有一种备受后人重视的"金粟山藏经纸"；经检验，它原是桑皮纸及麻纸。温州地区当时生产过一种"蠲纸"，也实为桑皮纸。官场和民间都使用过一种华贵的金花纸。在众多色调中，宋代亦重黄色，尤其是内府各馆阁官方文书字本，规定都用黄纸。《建炎以来系年要录》卷一五一说:"绍兴十四年（1144 年）诏诸军，应有刻板书籍，并用黄纸印一帙，送秘书省。"《梦溪笔谈》卷一载:"今三馆秘阁四处藏书，然同在同文院……嘉祐中，置编校官八员，杂雠四方书，给吏百人写之，悉以黄纸为大册写之，自是私家不敢辄藏。" 此说许多重要文献都用黄纸。

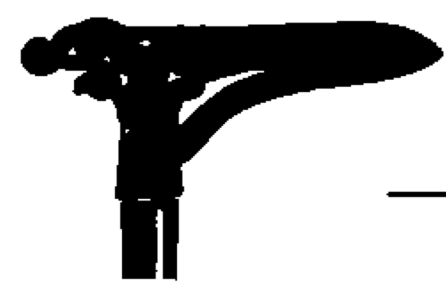
在宋代诸多工艺纸中，比较值得注意的有如下几种，其中有的是沿用旧日的工艺或名称者，也有创新者。

（一）水纹纸

此纸又叫"砑花纸"，为艺术加工纸。其始见于唐，所谓的鱼子笺即属这一类型。南宋袁说友《笺纸谱》载:"凡造纸之物，必杵之使烂，涤之使洁。然后随其广狭长短之制以造。砑则为布纹、为绫绮、为人物、花木、为虫鸟、为鼎彝，虽多变，亦因时之宜。"[1] 今见世界上最早的水纹纸实物属北宋时期，故宫博物院珍藏有《同年帖》，呈现透亮的精巧水波纹图案；米芾（1051～1107 年）的《韩马帖》(33.2 厘米 ×33.2 厘米)，砑有复杂的云中楼阁图案，宋末李衎（1245～1320 年）的《墨竹图》(29 厘米 ×87 厘米）呈现飞雁、游鱼图案。但这类实物为数甚少。

（二）施布胶矾或淀粉之纸

类似的操作约始见于六朝时期，之后便沿用下来，但具体操作和普及情况则各时代不尽相同。南宋赵希鹄《洞天清录·米氏画》说："米南宫多游江浙间，每卜居必先择山明水秀处"，渐得天然之趣；"其作墨戏，不专用笔，或以纸筋，或





以蔗滓，或以莲房，皆可为画；纸不用胶矾”。此最后一句说米氏作画时纸不用胶矾，反过来，说明当时一般人作画之纸是用了胶矾的。人们推测，此胶大约可用植物胶或动物胶，“矾”，在我国古代主要指明矾。

施布淀粉之纸在宋代甚为流行，鷁纸仍是其中之一。鷁纸约始见于唐，宋后有了进一步发展，有关记载也明显增多。宋代赵与时《退兵录》云：“临安有鬻纸者，泽以浆粉之属，使之莹滑，谓之鷁纸。犹洁也。”此鷁纸是一种涂了浆粉的纸。

宋代鷁纸大约依然保留着唐、五代时期的一些基本含义。元人程棨《三柳轩杂识·鷁纸》云：“温州作鷁纸，洁白坚滑，大略类高丽纸。东南出纸处最多，此当为第一焉，由拳[纸]皆出其下。然所产少。”“至和（1054～1056年）以来方入贡。权贵求索者浸广，而纸户力已不能胜矣。吴越钱氏时贡此纸者，鷁其赋役，故号鷁云。”[18]至和，北宋仁宗年号。可见，宋代鷁纸大约亦有多种含义，从工艺上看，它是一种涂淀粉纸、洁白坚滑纸，从社会功能上看，它还是一种免除了纸户力役的纸。

（三）防蛀纸

宋版《春秋经传集解》在书末钤有木戳，其文说：“淳熙三年（1176年）四月十七日，左廊司局内曹掌典秦玉桢等奏，闻壁经《春秋左传》、《国语》、《史记》等书，多为蠹鱼伤牍。未敢备进上览。奉敕用枣木、椒纸，各造十部，四年九月进览。览造臣曹楝校梓，司局臣郭庆验牍”。此“椒”当指蜀椒，其果实中含有香茅醛、水芹萜等，具有杀虫功能。“椒纸”当是用蜀椒果实的浸出液处理过的纸。其法约有二：一是把浸入的椒液兑入纸浆中；二是把它涂布于成纸之上。

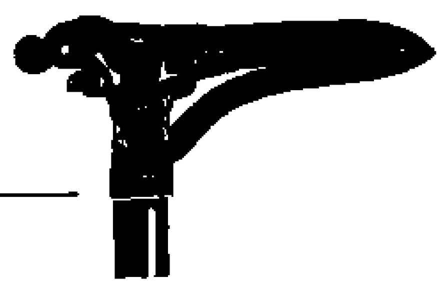
在考古实物中，今见西夏《吉祥遍至口和本续》的封皮和一件无名残纸中都含黄柏汁，既可着色，亦可防蛀[9]。

1974年，山西应县木塔内发现一大批辽代书籍、杂抄、绘本、雕印佛像等，除3件绢本外，均为纸质，其纸质优良，曾用黄蘖汁潢过[19]。亦可防虫。

（四）十色笺

唐代便已出现，宋代仍较盛行。唐代较负盛名的是蜀地十样蛮笺，宋代较负盛名的是谢公十色笺。袁说友《笺纸谱》载：“谢公有十色笺：深红、粉红、杏红、明黄、深青、浅青、深绿、浅绿、铜绿、浅云，即十色也。”“纸以人得名者，有谢公，有薛涛。所谓谢公者，谢司封景初师厚，创笺样以便书尺，俗因以为名。”[1]元费著《蜀笺谱》亦引用过此说[20]。谢景初（1020～1084年），宋杭州富阳人，字师厚，庆历（1041～1048年）进士，历任湖北转运判官、成都路提点刑狱，不能排除其曾受蜀地十样蛮笺影响的可能性。往昔曾有人认为谢师厚在薛涛之前[18]，或说“景初”即“唐昭宗景福（892年）之初”[21]；恐非。潘吉星[22]和戴家璋[23]都做过一些说明。笔者今又查，梅尧臣（1002～1060年）《宛陵集》卷二七载有“喜谢师厚及第”诗一首，题注云：“时第一甲二十八人，君名在二十三”。可知其与梅尧臣生活的年代大体相当。

除了十色笺外，大约还有一般色笺。《妮古录》载：“唐有鱼子笺，宋颜方叔尝创制诸色笺，有杏红、露桃红、天水碧，俱砑花、竹、鳞、羽、山、木、人物，



精妙如画，亦有金缕五色描成者，士大夫甚珍之，范成大云，蜀中粉笺正用吴法。”[24]

宋时不少地方都可生产笺纸，四方贵蜀笺，但蜀人却贵江南的徽纸、池纸和竹纸。袁说友《笺纸谱》载：“四方例贵川笺，盖以其远号难致。然徽纸、池纸、竹纸在蜀，蜀人爱其轻细，客贩至成都，每番视川笺价几三倍。”[1]

（五）书画、拓片和货币用纸

书画。汉、晋时期多用绢作画，唐代虽然有了纸本画，但为数甚鲜。实际上，纸本画的大量出现是宋代的事。绘画常用皮纸，质量要求是较高的；某些书画用纸，如彩绘蜡笺、冷金笺、暗花纸，以及前云彩色粉笺，原都是精巧的工艺品，若再加以优秀的书法、精美的图画，它们互相衬托、映照，便可收到十分完美的艺术效果。

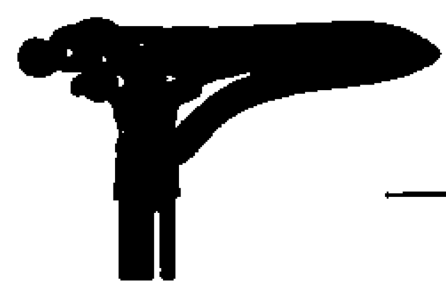
拓片用纸。宋代金石学甚盛，在复制钟鼎文和碑文过程中，金石拓片纸和碑帖纸亦迅速发展起来。人们对拓片用纸的要求是细、薄、致密、强度较高，对碑帖用纸的要求是坚实、受墨、表面平滑。宋曹士冕《法帖谱系》上“淳化法帖·绍兴国子监本”载：“绍兴中，以御府所藏淳化旧帖刻版实之国子监，其首尾与淳化阁本略无少异。当时御府拓者多用匮纸，盖打金银箔纸也，字画精神，极有可观。今都下亦时有旧拓者，元板尚存；迩来碑上往往作蝉翼，且以厚纸覆板上，隐然为银锭口痕，以惑人。”[25]这里谈到了拓片多用匮纸和蝉翼纸，匮纸亦可用于打制金银箔。

元《缀耕录》卷一五“淳化阁帖”条也说到过宋匮纸：“高宗绍兴中，国子监本其首尾与淳化略无少异，当时御前拓者多用匮纸，盖打金银箔者也。”[26]明代屠隆《考槃馀事》卷一“淳化阁帖”条谈到过拓片纸：宋太宗搜访古人墨迹，于淳化三年（992年）命王著摹勒作十卷，题“淳化三年壬辰岁十一月六日奉旨摹勒上石，用澄心堂纸，李庭珪墨，拓打以手摩之，墨不污手”。王公大臣各赐一本，后世谓之《淳化阁帖》，甚为精良。

纸币。宋统谓之楮币，北宋时又谓之“交子”，始创于四川，后演变成“钱引”；南宋时期，东南诸路又谓之“会子”，绍兴元年时浙江婺州又谓之“关子”。

相当长一个时期内，我国流通领域使用的主要是金属货币，它有两个十分严重的缺点：一是原料来源较为困难；二是使用起来很不方便。为此，汉代便出现了一种轻便的货币，即白鹿皮币。《史记》卷三〇“平准书”载：“以白鹿皮方尺，缘以藻缋，为皮币，直四十万。”一年有余，废而不行。随着造纸技术、印刷技术的发展，唐代出现了飞钱（汇票）；宋代便出现了纸币，纸币的出现，是造纸术、印刷术发展的一项重要成就。

宋代纸币系由唐代飞钱演变而来，其始于宋真宗时，创于四川，初为民办，后转为官办。《宋史》卷一八一“食货志”载：“会子、交子之法，盖有取于唐之飞钱。真宗时，张詠镇蜀，患蜀人铁钱重，不便贸易，设质剂之法，一交一缗，以三年为一界而换之。六十五年为二十二界，谓之交子，富民十六户主之。后富民赀稍衰，不能偿所负，争讼不息，转运使薛田、张若谷请置益州交子务，以榷其出入，私造者禁之。仁宗从其议，界以百二十五万六千三百四十缗为额。”“当时




会子纸取于徽、池，续造于成都，又造于临安。会子初行止于两浙，后通行于淮、浙、湖北、京西。”据《宋史》卷九“仁宗本纪一”载，仁宗天圣元年（1023年），政府正式接办，“置益州交子务”。

金代也曾印制过不少钞票。《金史》卷五六“百官志二”载：户部下设有“印造钞引库（原注：大安二年兼抄纸坊）”，“掌监视印造勘覆诸路交钞盐引，兼提控抄造钞引纸”。此大安二年，即1210年。

至于纸币的印刷，下面再作讨论。

（六）反故纸

这是一种利用反面的旧纸。明人张萱（1557～？年）《疑耀》载：“每见宋版书，多以官府文牒翻其背，印以行。如《治平类编》一部四十卷，皆元符二年（1099年）及崇宁五年（1106年）公私文牍启之故纸也。其纸极坚厚，背面光滑如一，故可两用。”这里说到了宋人利用旧纸背面的情况。

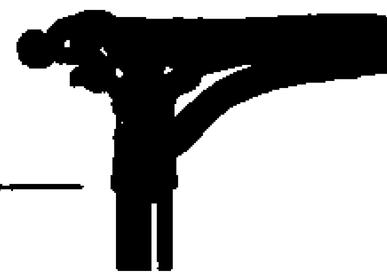
（七）仿澄心堂纸

“澄心堂纸”原为五代名纸，北宋时流出南唐宫中后，曾引起过当时社会的广泛注意。明谢肇淛《五杂俎》卷一二载：“宋子京（889～1061年）作《唐书》，皆以澄心堂纸起草，欧[阳]公作《五代史》亦然。”[27]用澄心堂纸作草稿用，可见其数量较大。明屠隆（1542～1605年）《考槃余事》卷一“论书”载：“尝见宋版《汉书》，不惟内纸坚白，每本用澄心堂纸数幅为副。今归吴中，不可得矣。”卷二“纸笺·宋纸”说：“有澄心堂纸极佳，宋诸名公写字，及李伯时画，多用此纸。”“有歙纸，今徽州歙县地名龙须者，纸出其间，光滑莹白可爱。”[28]伯时为李公麟字，北宋晚期人，熙宁（1068～1077年）进士，居京不游权贵门。

仿造澄心堂纸事至迟始于北宋中期。宋敏求（字次道，1019～1079年）曾得到过南唐澄心堂纸，其后又转赠梅尧臣百枚；为此，梅尧臣曾在《宛陵集》卷二七“答宋学士次道寄澄心堂纸百幅”诗中说：澄心堂纸“浸堆闲屋任城土，七十年来人不知。而今制作已轻薄，比如古纸诚堪嗤；古纸精光肉理厚，迩岁好事亦稍推”[29]。这说明至少在梅尧臣时代，已有仿制之澄心堂纸，其质较古纸轻薄。北宋陈师道（1053～1103年）《后山谈丛》卷二载：“余于丹徒高氏见杨行密节度淮南补将校牒纸，光洁如玉，肤如卵膜。今士大夫所有澄心堂纸不迨也。”[30]看来，这些仿制之澄心堂纸与原纸是有一定差别的。

**四、造纸专著的出现**

我国对造纸资料的收集约可上推到隋代末年，虞世南（558～638年）在任隋秘书郎时曾作《北堂书钞》，其卷一〇四便收集了不少纸的历史资料。到了唐代，欧阳询《艺文类聚》卷五八、徐坚《初学记》卷二一都做过类似的工作。不过，这都是文献摘抄，而不是纸的专著；关于纸的专著实际上是到了宋代才出现的，其中最重要的是北宋苏易简（958～996年）《文房四谱》、蔡襄（1012～1067年）《文房四说》、米芾《书史》与《评纸帖》、陈櫄《负暄野录》、南宋袁说友《笺纸谱》，以及赵希鹄《洞天清录》等，其中有的是专述纸及其制品的，有的则兼谈了别样。这是我国，也是全世界最早的一批关于纸的论著。这些书籍的出现，较大程度上反映了造纸技术之发展。其中最值得一提的是《文房四谱》，作者苏易简，梓



州铜山人，太平兴国五年进士，以礼部侍郎出知邓州陈州。此书有雍熙三年（986年）自序，云其“阅书秘府，集成此书”。中专有“纸谱”一篇，其又包括叙事、制造、杂说、辞赋四项，谈到了麻纸、藤纸、楮皮纸、桑皮纸等的源流、加工及其用途，亦谈到了北宋的竹纸、麦秆纸、稻秆纸，从而具有较高的史料和学术价值。

## 第七节 雕版印刷的发展和活字印刷的发明

两宋是我国古代印刷技术蓬勃发展的一个重要阶段，所刻书籍之多、刻印规模之大、内容之广、印版之精、字体之美、用纸之佳，都达到了相当高的水平。今所谓“宋体字”，便是在宋代雕版印刷中逐渐发展起来的。宋版书已成为精美的工艺品和重要的文物。此期印刷技术的主要成就是：雕版印刷发展到了鼎盛的阶段；使用了铜版印刷和型版套色印刷；发明了活字印刷，其中包括木活字和胶泥活字两种；发明了蜡板印刷；制墨技术有了较大发展。

### 一、雕版印刷的长足进步

整个宋代社会从上到下，对雕版印刷都十分重视。宋初战乱基本平定后，宋王朝便开始了对经、史书籍的收集、校勘和刻印。宋太祖开宝五年（972年）完成了《尚书》、《经典释文》的校勘和印刷；宋太宗时，这工作全面开展起来。宋廷不但组织了专门的学者从事重要典籍的校勘，有时皇帝亦亲临视察。《宋史》卷四三一“邢昺传”载，景德二年（1005年），宋真宗亲自到国子监视察并观看了库藏之书，“问昺：‘经版几何’？昺曰：‘国初不及四千，今十余万，经、传、正义皆具。臣少从师业儒时，经具有疏者百无一、二，盖力不能传写，今板(版)本大备，士庶家皆有之。斯乃儒者逢辰之幸也’”。在开国后四五十年内，经传便达到了“士庶家皆有之”的状况，充分反映了宋代印刷业发展之迅速。

#### （一）三种经营体制

从投资性质和经营情况看，宋代雕版印刷约可分为三种类型，即官刻、私刻、民间集资刻印。由于三种经营形式的发展，在全国形成了一个较大的出版组织[1][2]。

“官刻”指从朝廷到地方的各级行政部门、文化教育部门等公帑投资或主持刻印者。两宋朝廷中的许多机构，国子监、崇文院、秘书省、国史院、刑部、大理寺、太史局印历所等都曾刻书，其中最重要的是国子监，它不但是最高学府和教育主管部门，并且兼具了出版发行典籍的职能。《宋史》卷二六六“李至传”载：“淳化五年（994年）兼判国子监（李）至上言：五经书、疏已板行，惟二传、二礼、《孝经》、《论语》、《尔雅》七经、疏未备，岂副仁君垂训之意。今……皆励精强学，博通经义，望令重加雠校，以备刊刻。”说明淳化五年以前，五书已经刊行，淳化五年时，七经也准校刊，这都是由国子监主持的刻本。北宋时期，“监本”多数出自杭州，部分出自汴梁；南宋之后，临安印刷业更加繁荣起来。地方的官刻范围较广，各州、府、军、县，各转运司、安抚司、提刑司、茶盐司，各府学、州学、县学等，都可刻书。如绍兴二年（1132年）余姚县刻印司马光《资

治通鉴》294 卷，端平三年（1236 年）常州军刻印宋章樵《古文苑注》21 卷，绍兴十五年（1145 年）平江府刻宋李诫《营造法式》34 卷等。在整个古代印刷中，官刻一直是占据主导地位的。

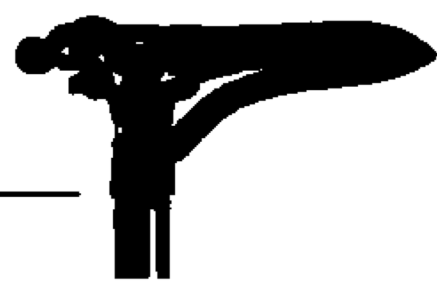
"私刻"又分两种：（1）家刻，即私宅家塾刻书。（2）坊刻，即手工业作坊刻书。家刻主要是一些文人学士崇尚道德文章，为传授学术思想所为；也有的是为了保存自己的文章，以传后人；其旨不在盈利。宋代士大夫皆喜刻书，据云，陆游父子、范成大、杨万里、朱熹、张栻等人在各处做官时，无不刻书，其中较为著名的有岳珂的相台家塾本和廖莹中的"世彩堂"刻本。前者书目有《九经》、《三传》以及《孟子注附音义》10 卷、《论语集解附音义》10 卷；后者书目主要有《韩昌黎集》40 卷、《柳河东集》44 卷等。坊刻的主要目的是盈利。坊刻业约始创于唐代中后期；及宋，由于朝廷提倡，历代经典大量出版，这种民间的印刷作坊才得到了较大的发展，并形成了几个较大的印刷业中心，其中最著名的是浙江的杭州（临安）、福建的建阳、建安，以及四川。印书质量又以杭州为上，蜀次之，福建最下。杭州印刷多用浙江桑皮纸，蜀中多用皮纸、麻纸，闽中多用较为粗糙的竹纸。南宋杭州印刷作坊有铺名可考的约近 20 家，其中有的是北宋灭亡后从开封迁来的。杭州印刷业中，最著名当是陈姓各家字号。有的坊主本身便是藏书家，身兼编辑、刻印和销售多项职能。

民间集体集资刻印，这主要指寺院、道院、祠堂刻印，它们既不同于官刻，也不同于私刻。传世东禅寺大藏经本《华严经》卷八〇后之题记云："福州东禅等觉院住持，慧空大师冲真于元丰三年庚申岁谨募众缘，开雕大藏经板一副，上祝今上皇帝圣寿无穷，国泰民安，法轮常转。"说明其刻经资金系"谨募众缘"所得。这诸多经营方式中，唯坊刻以盈利为目的。

（二）印刷内容的扩展

宋代印刷内容十分广泛，既包括经、史、佛学、道学，还有大量的子部、集部书籍，以及一些笔记小说、日常生活用书、考古研究、新闻报道性质的出版物。

早在宋代初期，朝廷就主持出版了一些大型图书，如开宝四年（971 年）曾派人往益州雕印佛经大藏经，太平兴国八年（983 年）始成，计雕版 13 万块，凡 5048 卷，是我国历史上印刷最早、且规模最大的佛经总集，世称《宋开宝刊蜀本大藏经》，简称"开宝藏"或"蜀藏"，这是印刷史上的壮举。可惜已不见全本传世，国家图书馆藏有残卷。宋太宗时，为怀柔安置旧臣和降王旧臣，于太平兴国二年（971 年）起，命李昉等人主持编纂了《太平御览》1000 卷、《太平广记》520 卷、《文苑英华》1000 卷。宋真宗（998～1022 年）时，为与其父媲美，命王钦若等人主持编纂了《册府元龟》1000 卷。之后又有司马光（1019～1086 年）《资治通鉴》294 卷问世。这些大型出版物对我国文化事业都产生过深远的影响。此外，淳化至景德间还校印了《三史》，即《史记》、《汉书》、《后汉书》；咸平年间又校刻了《三国志》、《晋书》、《唐书》；嘉祐年间又有《宋书》、《齐书》、《梁书》、《陈书》、《魏书》、《北齐书》、《北周书》校订刊行，史称"嘉祐七史"。另一部大藏经，即由东禅寺住持慧空大师冲真等发起募款刻印的《福州东禅寺大藏》，始刻于元丰三年（1080 年），成于崇宁二年（1103 年），凡 6434 卷，又称



"福藏"、"崇宁藏"、"崇宁万寿大藏"。宋岳珂（1183~1234年）《愧郯录》卷九"场屋编类之书"云:"建阳书肆日辑月刊，时异而岁不同，以冀速售。"这从一个侧面反映了宋代出版业的发展状况。

保存下来的许多宋版书籍都十分精良，刀法纯熟，纸墨上乘，字体亦为后世仿效，不管监本、坊本，还是家刻本都经过了缜密的校勘，故宋版书一直受到后人的珍视。

（三）版权保护之发端

由于印刷业的发展，商业竞争亦激烈起来，大约南宋中期，便出现了保护版权的问题。较为明显的版权保护刊记，今日所见至少三例。一见于王称（1147~1210年）《东都事略》（1181年），在眉山本目录后有一长方形印记:"眉山程舍人宅刊行。已申上司，不许覆版"。这说得十分简单明白，与今人所云"版权所有，不得翻印"有异曲同工之妙。二见于祝穆（1197~1264年）《方舆胜览》（1238年），在原刊本"自序"后录有禁止翻刻的官府榜文，内中称《方舆胜览》、《四六宝苑》、《事文类聚》等书，"积岁辛勤，今来雕板，所费浩瀚。窃恐书市嗜利之徒辄将上件书版翻开，或改换名目"。"如有此色，容本宅陈告，乞追人毁版，断治施行。""福建路转运司状，乞给榜约束所属，不得翻开上件书版。"云云。此最后一句，便也说得十分明白。三见于段昌武（1177~1242年）《丛桂毛诗集解》，此书出版时其已谢世，其子侄向国子监申请到了版权，书前有国子监的禁止翻版公文，要浙、闽两路转运司"约束所属书肆……如有不遵约束违戾之人，仰执此经所属陈乞，追板必毁，断罪施行"。最后落款是"淳祐八年七月□日给"。可见版权之争在当时社会上已引起了较大的反响。这是世界上关于版权保护的最早呼声[3][4]。

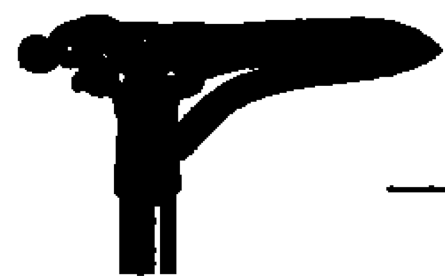
不过有一点值得注意的是，此三次版权案例，都是由个人申请，再由某级主管部门备案的，而不是朝廷的统一政令。在整个宋代，朝廷从未统一发布过禁止翻印的公文。宋廷印刷的书籍，非但不禁止民间翻版，而且还通过皇权的力量，对书籍严加校勘，为民间提供着较为标准的版本[5]。清人蔡澄《鸡窗丛话》云:"尝见骨董肆古铜，方一二寸，刻选诗或杜诗、韩文二三句，字形反，不知何用。识者曰，此名书范，宋太宗初年，颁行天下刻书之式。"[6]今见宋版格式多较规整，与朝廷的重视，统一出一种较好的格式当是不无关系的。

（四）辽、西夏、金的雕版印刷

辽（916~1125年）为契丹族建立的地方政权，居于我国北方；西夏（1032~1227年）是以党项族为主体的地方政权，其原居于四川、西藏等地，后迁，散居于西北广大地区；金（1115~1234年）是女真建立的地方政权，居于我国东北和北方。在中原文化的影响下，它们的雕版印刷术都有较大发展。此三个割据政权中，西夏的活字印刷尤为发达，下面再谈。

1. 辽代雕版印刷

辽代所用书籍多系北宋购进的汉文印刷品，契丹文译本只在小范围内流通。辽代印刷业主要集中在汉族居住的地方，其印刷规模最大的是《辽藏》（也称契丹藏），这是宋刻《大藏经》的翻刻本，计有大字卷轴本和小字网装本两种，全用汉





字；见于记载的辽代契丹文本有《贞观政要》、《五代史》、《白氏讽谏集》、《方脉书》等，但皆未流传下来。

在今见辽刻本中，最值得注意的有三宗：（1）1974年山西应县木塔内发现的61件雕版印刷品，其中有《辽藏》12卷，单刻经35卷，刻书、杂刻8件，佛像6幅[7]。（2）1987年河北丰润天宫寺塔内发现辽藏一帙8册，及其他佛教经卷、册19件[8][9]。（3）1988～1992年内蒙巴林右旗庆州白塔发现佛经221件。三批经卷皆全为汉字。许多经卷刻版手法圆熟精到，刀法流畅自如，刻画传神，表现出了相当高的刻版印刷水平。应县《辽藏》为大字疏朗的卷轴本，丰润《辽藏》为刻印精巧的密行小字本[9][10]。

2．西夏雕版印刷

西夏雕版印刷技术也是相当发达的。西夏也创立过自己的文字，其印刷品既有西夏文，也有汉文，既有佛经、儒家经典、历史类、兵家类，亦有日用类书籍。他们也从北宋大量购买书籍。因文献资料稍少，详细情况难以了解，在考古实物中，较值得注意的主要有下列三起：（1）1909年俄国人柯兹洛夫（П. К. Козлов）在西夏故城黑水城（今内蒙古额济纳旗境内）发掘出大批的西夏文、汉文、藏文、回鹘文资料。在西夏文资料中，已考订的写本和刊本计405种3000多件，其中有民俗性著作和佛经两大类；尚未考订者尚有5000多件[11][12]。汉文资料有刊本（包括雕版本和活字本）、写本、文书、纸币，计488件，其中可定为西夏时期的佛经刊本有23种97件。这是今见西夏雕版印刷品中，年代较早且数量较大的一宗[11][13]。黑水城出土的印本以夏仁宗（1140～1193年）时期数量最多，如《圣观自在大悲心总持功能依经录》、《胜相顶尊总持功能依经录》等都是刻本。（2）1917年宁夏灵武县修筑城墙时出土一批西夏文佛经，后多为北平图书馆购得。据统计，今藏于国家图书馆的西夏文佛经为17种100多件，其中多为元代印制，属西夏时期的刊刻本只有1种2件[14][11]。在今见西夏佛经刻本中，大家较为熟悉且年代稍早的是《大方广佛华严经》卷四〇，是大安十年（1085年）大延寿寺僧人守琼为向教徒散发而刻印的，宋体字。（3）1990年贺兰县宏佛塔出土西夏文刊本残页多种，西夏文木雕残版2000余块，最大一块残高12厘米、宽23.5厘米、厚2.2厘米，字迹清晰[15]。此外还有一些，不再一一列举。这都从一个侧面反映了西夏雕版印刷，及至整个印刷技术的发展。

3．金代雕版印刷

金代印刷是在原辽国和北宋基础上发展起来的；汉文、女真文、契丹文皆为官方通用；不管经、史、子类书目，还是宗教类书目和民间日用书目，都曾大量印刷。今主要介绍一下女真文印刷。

金代印刷以汉文为主，为推行本民族文字，亦有不少女真文印本。如《金史》卷九九“徒单镒传”：徒单镒“七岁习女直（真）字，大定四年诏以女直字译书籍；五年（1165年），翰林侍讲学士徒单子温进所译《贞观政要》、《白氏策林》等书。六年，复进《史记》、《西汉书》，诏颁行之”。这可能是较早用女真文印刷的一批书籍。又，《金史》卷八“世宗纪下”：世宗大定二十三年（1183年）八月，世宗“观稼于东郊，以女直字《孝经》千部付点司分赐护卫亲军”。一次便分

赐女真文《孝经》千部，可知其印量不小。同书同卷又载，九月己巳，“译经所进所译《易》、《书》、《论语》、《孟子》、《老子》、《扬子》、《文中子》、《刘子》及《新唐书》。上谓宰臣曰：‘朕所以令译五经者，正欲女直人知仁义道德所在耳。’命颁行之”。可知印书量较多且较大。

（五）型版套色印刷

我国古代织物上的型版套色印染约发明于汉，但纸上的雕版套色印刷，却是到了宋代才发明出来的，这是宋代印刷技术的一项重要成就。雕版印刷、活字印刷、套色印刷，是我国古代印刷技术发展史上的三项重大事件。

明曹学佺《蜀中广记》卷六七“方物记”第九“交子”篇引云：“大观元年（1107 年）五月，改交子务为钱引务，所铸印凡六：曰敕字、曰大料例、曰年限，曰背印，皆以墨；曰青面，以蓝；曰红团，以朱。六印皆饰以花纹。红团，背印则以故事。”[16]此“印”显然是指印刷钞票的雕版，说印钞需 6 套印版，且套墨、蓝、朱三色。虽然迄今尚未看到实物，但所云十分明白。这是我国古代套印中较为明确的最早记载，其具体操作有待研究。

宋、辽、金时期，宋代雕版套色印刷的实物今日仅见一例，即 1994 年温州国安寺石塔内发现的“蚕母”套色版画。“蚕母”套色版画，残品，残高约 21 厘米、残宽约 19 厘米，阳文刻版，用浓墨、淡墨、朱红、浅绿四色套色在质地柔软的纸上，画面以蚕母、蚕茧、吉祥图案为主。蚕母位于左侧，其上的长方形铭框内有直书“蚕母”二字；“蚕母”高髻、鞠衣，体态雍容丰满，颇具晚唐、五代遗风。右侧有满框蚕茧，框内套色，从左至右，单数为淡绿色，双数为朱红色（彩版玖，1）。石塔建于元祐庚午至癸酉（1090 ~ 1093 年），套色版画当为元祐或此前的作品[17]。

属于辽、金的套色印刷制品见有多起，其中比较值得注意的是：（1）1973 年西安碑林《石台孝经》的石柱中发现的一幅《东方朔盗桃》版画，画高 100.8 厘米、宽 55.4 厘米，阳刻，用浓墨、淡墨、浅绿套印在淡黄色的整张细麻纸上[18]，据称为 12 世纪金代平阳所印。其由三块色版套印而成：第一块为大样，即全画的轮廓线，为浓墨；第二块为人物的衣服、鞋帽，为淡墨；第三块桃叶和衣服上的小花纹，为淡绿色。其线条清晰、色彩均匀，套印准确[19]。（2）1974 年山西应县木塔内发现的辽代彩色画，有学者认为其中的三幅《南无释迦牟尼像》可能采用了丝漏印刷，即先制成两套漏版，漏印了红色再换版漏印蓝色，然后用笔染上黄地[20]。也有学者持有不同意见，说它可能是雕刻半版画面，然后分别刷染红、黄、蓝三色于不同部位，再将整幅素绢单折后上版刷印的。[9][10]可以进一步研究。

多色套印的工艺形式较多，各家之说亦稍有差异。潘吉星谈到三种：（1）一版多色一次印刷。即在一张印版的不同部位涂以不同颜色，一次印成。（2）一版多色多次印刷。即在一张印版的不同部位，依次涂以不同颜色，分别先后多次印成。（3）多版多色多次印刷，即制作多块小印版，分别涂以不同颜色，分别先后印成。后者的高级形式即明代的饾版印刷[21]。前者应是多色印刷的早期形态，其特点是在两色交汇处常发现颜色相混的现象；后二者当是在前者基础上发展和演变过来的，特点是两色接触处无颜色相混的现象。前者操作较为简便，后者技术

上要求较高，故三种方法长期共存。

方晓阳又对潘吉星所云第三种，即“多版多色多次印刷”作了进一步研究，又将其分成了三种工艺：（1）每版一色，多版色块，多次印刷。操作步骤是：绘制画稿、分色摹绘、分色上版、雕镌阳文、分色多次印刷。技术特点是：依色分版，每版一色，先印大样，再印色版，多版套印。方晓阳认为，1973 年发现的《东方朔盗桃》版画应是此法的早期代表作；明末的《花史》亦属此工艺。（2）每版一色，多版线图，多次印刷。基本操作类如前者，主要区别是：此为线条印刷，而非色块印刷。宋代的纸币、钱引，以及明代的《竞春图卷》等人物故事画，皆属这一类型。此二法的缺点是：版味较重，用色呆板，缺少浓淡变化，无中国水墨画的效果。（3）饾版印刷。基本操作与前两法相类似，但其克服了前两法的缺点[19]。有关情况明代部分再谈。前两法始见于宋，后者则是到了明代才看到。在此三法之前，方晓阳认为还有一种“线版印刷，手工填彩”法。操作步骤是：绘制画稿、薄纸摹绘、反贴于版、雕镌阳文、刷墨上版、覆纸印刷、手绘填彩。技术特点是：手工填彩，只印一次或少数几次。如敦煌发现的 947 年观音像，有几幅用这种方法上了 6 种颜色[19]。这种手工填彩大体上可视为多色套印的前身。

**二、金属“雕”版印刷的发展**

此金属“雕”版主要指铜版，此外可能还有铅版，它们与木质雕版有着十分密切的关系。

（一）铜版印刷的发展

我国古代铜版印刷约发明于唐、五代时期，有关文献记载和实物资料到了宋代皆更多且更加明确起来；除了书籍外，还较多地用到了印钞上。

仁宗景祐三年（1036 年），孙奭《圆梦秘策》的“序”文说：“用不敢私，镌金刷楮，敬公四海”。此“金”即铜，“楮”即楮皮纸，“刷楮”即用楮皮纸印刷。祝慈寿认为此“镌金刷楮”可能是铜版印刷[22]，张秀民大体上亦倾向于这一观点[23]。

《文献通考》卷九“钱币考二·会子”篇：“淳熙三年（1176 年）诏：第三界、四界各展限三年，令都茶场会子库将第四界铜版接续印造会子二百万，赴南库椿管。”“湖会”条载：孝宗隆兴元年（1163 年），核准地方印行会子，嗣因印数过多而生流弊。“乃诏总所以印造铜板，缴申尚书省，又拨茶引及行在会子收换焚毁。”这是宋代铜版印刷的较早且较确凿的记载。

宋代印书铜版迄今未见，在一般铜质印版中见有钞版 2 块、广告版 1 块传世。

中国国家博物馆藏传世“行在会子库”铜版 1 块，呈竖式长方形，长 17.4 厘米，宽 11.8 厘米，上部右边为金额“大壹贯文省”5 字，左边刻有料号“第壹佰拾料”，当中方框内刻有赏格文，“敕伪造会子犯人处斩，赏钱壹阡贯。如不愿支赏，与补进义校尉。若徒中及窝藏之家能自告首，特与免罪，亦支上件赏钱，或愿补前项名目者听”。计 56 字。印版中部横刻“行在会子库”5 个大字。印版下部刻有一幅山泉纸纹图案。印版原藏上海市博物馆[24]。据《宋史》卷一八一“食货志”载：宋王朝曾多次立“伪造交子罪”法，其始为神宗熙宁三年（1070 年），





后有崇宁三年（1104 年）、绍兴三十二年（1162 年）等。其中后者的规定与此铜版的文字最为接近，其云，绍兴“三十二年定伪造会子法，犯人处斩，赏钱十贯，不愿受者补进义校尉；若徒中及庇匿者能告首，免罪受赏，愿补官者听”。日本亦藏宋代铜质的纸币印版 1 块，亦竖式长方形，长 16 厘米、宽 9.1 厘米，上半部刻有“除四川外许于诸路州县公私从便，主管并用，见钱七百七十陌流转行使”29 字，下半部刻有房屋、人物和成袋的包装物品图景。图中有 3 个人正在房外的空地上背运货物，版面未刻钞名[25]。

宋代铜质广告印版今见有“济南刘家功夫针铺”铜版等，原藏上海市博物馆，今藏中国国家博物馆。最上部横刻“济南刘家功夫针铺”8 字，上半部正中刻玉兔捣药图像，左右两边分刻“认门前白”、“兔儿为记”8 字，铜版下半部刻有“收买上等钢条”等 28 字。据有关专家鉴定，应为北宋遗物。

关于铜质印版的制作工艺，因缺少这方面的科学分析资料，在此只能作一些推测，一般而言，古代铜质印版当有铸制、直接镂制两种工艺。书籍印版因文字凸起，笔锋深峻，加之需要量较大，应以铸制为主；货币类印版等，便可使用镂刻之法。铸制印版的一个关键技术是如何避免和减少气孔、砂眼、组织疏松、缩孔等对版面文饰的影响；镂刻的一个技术关键是“铜”的硬度稍大，不易操作。但不管哪种操作，古人都使用了一个“雕”字；铸版之“雕”，当指泥型雕塑言。

（二）关于铅版印刷

1983 年，安徽省东至县在废品仓库中发现了宋代“关子”钞版和“关子库印”1 套，计 8 块[26]，版厚约 0.4 厘米，总重量约 3850 克，以铅锡合金铸成。钞版 4 块，即“行在榷货务时对桩金银见钱关子”、“准敕”、“景定五年颁行”、“瓶花”。其中“准敕”版高 18.9 厘米、宽 13.3 厘米。印章计 4 方，三方完好，一方残缺，无台无钮，文皆汉书篆字。其文分别为“国用见钱关子之印”、“行在榷货务金银见钱关子印库”、“金银见钱关子监造检察之印”、“（榷货务）见钱关子审容印”。其中第 1 块稍大，为 6 厘米 ×5.8 厘米见方，其余 3 块的长宽亦在 5.4 厘米 ×5.5 厘米间。因这些“关子”版无编号、无签押，制作粗率、简陋，甚至官印也是铅锡合金，故有学者对其真实性提出了怀疑[27]。我们认为，此肯定和否定，都有一定道理，可以进一步研究。但宋代使用过铅锡雕版的可能性还是不能排除的。

（三）金代的铜版和纸币印刷

金代建国之初，主要沿用辽、宋旧钱，贞元二年（1154 年），金朝在中都设印造钞引库及交钞库，专门从事纸币印刷和发行。《金史》卷四八“食货志”载：“贞元二年迁都之后，户部尚书蔡松年复钞引法，遂制交钞与钱并用。”“贞元间既行钞引法，遂设印造钞引库及交钞库。”蔡松年父子均曾在北宋为官。“复”即重复，即承袭北宋钞引法。同书同卷又云：“交钞之外，制为阑，作花纹，其上横书贯例，左曰‘某字料’，右曰‘某字号’。料号外，篆书曰‘伪造交钞者斩，告捕者赏钱三百贯’。料号横栏下曰‘中都交钞库，准尚书户部符，承都堂札付，户部覆点勘，令史姓名押字’。又曰：‘圣旨印造逐路交钞，于某处库纳钱换钞，更许于某处纳钞换钱，官私同见（现）钱流转’……年月日印造钞引库、库子、库司、副

使各押字，上至尚书户部官亦押字。”直到1234年为蒙古所灭为止，纸币一直是金代最重要的流通货币，历时约80余年。金和南宋的纸币印刷都是在北宋基础上发展起来的，但金代纸币管理不但较北宋有了发展，而且较南宋先进。

金代纸币，以及金宣宗元光年间用丝绸印制的“元光珍宝”（习谓元光绫币），虽无一存下，但保留下来的印钞铜版却不少见，大家较为熟悉的有贞祐宝券铜版、兴定宝泉铜版、三合同十贯大钞铜版、山东路十贯大钞铜版、二贯钞铜版等[28][29]。

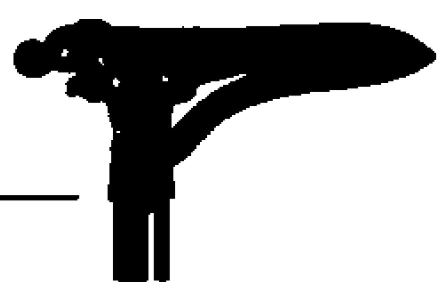
**三、活字印刷的发明**

雕版印刷的发明，极大地促进了书籍生产，因而天下书籍遂广。然而雕版印刷也有缺点，元王祯《农书》卷二二“造活字印书法”云:“板木工匠，所费甚多，至有一书字板，功力不及，数载难成。虽有可传之书，人皆惮其工费，不能印造，传播后世”。于是在印章、封泥、诸铜器铭文等工艺的启发下，又发明了活字印刷。从现有资料看，我国古代使用过的印刷活字，大体上可区分为非金属活字和金属活字两大类，前者包括泥质和木质等，后者包括铜活字、锡活字、铅活字等。一般而言，金属活字皆非纯净金属制成，而应是二元或多元合金。这些活字中，最先发明的是泥活字，主要使用于宋；稍后，西夏还较多地使用了木活字。我国是世界上最早发明印刷术的国家，不但最早地发明了雕版印刷，而且最早地发明了活字印刷，对人类文化的传播和发展，起到了十分重要的作用。

（一）宋代泥活字印刷的发明

我国古代关于活字印刷的记载始见于宋，沈括《梦溪笔谈》卷一八“技艺”云:“板印书籍，唐人尚未盛为之。自冯瀛王始印《五经》，已后典籍皆为版本。庆历（1041～1048年）中，有布衣毕昇又为活版。其法：用胶泥刻字，薄如钱唇，每字为一印，火烧令坚。先设一铁版，其上以松脂、腊和纸灰之类冒之。欲印，则以一铁范置铁板上，乃密布字印，满铁范为一板。持就火炀之，药稍熔，则以一平板按其面，则字平如砥。若止印三二本，未为简易；若印数十百千本，则极为神速。常作二铁板，一板印刷，一板已自布字，此印者才毕，则第二板已具，更互用之，瞬息可就。每一字皆有数印，如‘之’、‘也’等字，每字有二十余印，以备一板内有重复者。不用则以纸贴之。每韵为一贴，木格贮之。有奇字素无备者，旋刻之，以草火烧，瞬息可成。不以木为之者，木理有疏密，沾水则高下不平，兼与药相粘，不可取；不若燔土，用讫再火；令药熔，以手拂之，其印自落，殊不沾污。昇死，其印为余群从所得，至今保藏。”这里简要地记述了泥活字制作、印刷的全过程及注意事项。这是我国，也是全世界关于活字印刷的最早记载。其发明者是一位叫毕昇的布衣。宋江少虞《事实类苑》（成书于绍兴十五年，1145年）卷五四“板印书籍”条也有同样的记载。

毕昇活字印刷中值得注意之点是：（1）以胶泥制作活字。此胶泥，民间又谓之膏泥，是一种含$Al_2O_3$较高，成分与高岭土相近的一种粘土，其强度稍高，致密性稍好。（2）每印一字；每字多印，如“之”、“也”等字则有20余印，以备一版内有重复使用者。阳文反字的凸起高度“薄如钱唇”。非常用字可随时烧制。（3）泥活字须火烧令坚。此“烧”当为焙烧，其质仍为泥质，或至半陶质。（4）活字



以韵分类，置于木格内。(5) 泥活字须固定于铁板，即“铁范”内；铁范须两块，一作印刷，一作准备（布字）。(6) 以松脂、腊、纸灰为粘药，用加热法将活字粘于印版上。印完后加热令药熔，手拂印落。

看来，毕昇还试用过木活字，但未获成功，沈括说其有下述两个缺点：(1) 木有纹理，沾水则高低不平；(2) 易与药粘，难以取下。其实，如若控制得当，这两个缺点都是可以避免的，下述西夏木活字等皆可为证。

毕昇的生平、籍贯待考。清代李慈铭称其为益州人，未知有何凭据。张秀民则推断毕昇为杭州人，因毕昇部分泥活字曾为沈括侄儿们所得，而沈括为杭州人[23]。20 世纪 90 年代，湖北英山发现了毕昇墓碑，有学者又认为其为英山人；但也有学者持不同意见[30]；有待进一步研究。

（二）周必大泥活字印刷实践

宋人记述了泥活字印刷，但此技术的使用状况如何，它是否印刷过书籍，印过何种书籍，昔因未曾找到确凿证据，学人长期众说纷纭；清代以来的藏书目录虽著录了七八种宋活字本，但均未得到有关学者的认可。1984 年，台湾学者黄宽重发现南宋周必大（1126 ~ 1204 年）于光宗绍熙四年（1193 年）在今长沙用胶泥活字印刷了他的著作《玉堂杂记》，此事始有了确证[31]。《周益文忠公集》卷一九八载有绍熙四年周必大与程元成给事札子，其中有云：“近用沈存中法，以胶泥铜版移换摹印，今日偶成《玉堂杂记》二十八事，首恩台览，尚有十数事，俟追记补缀续纳”[32]。周必大，江西庐陵人，南宋中期名臣。《玉堂杂记》凡三卷，59 条，约 14000 言，成于淳熙九年（1182 年）。这是迄今为止人们了解到的宋代泥活字印本实例，周必大是否还用胶泥活字印刷过其他著作，今已不得而知。

据说朱熹也使用过胶泥活字。《朱文公文集》卷三八载，庆元四年（1198 年），理学家朱熹在一封信中说他正使用胶泥制作一份“地理图”，但不知此图是否完成。下面还要谈到，可能西夏文也有过泥活字印本。

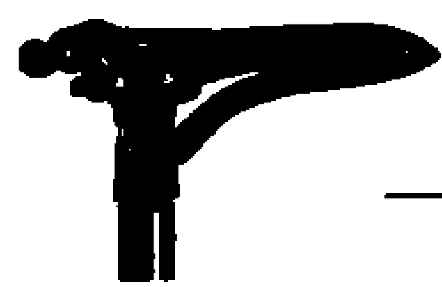
至于 1965 年温州白象塔发现的《佛说观无量寿佛经》印本残页，是否使用了泥活字，学术界则有不同说法。此经文作回旋排列，计 12 行，同出的写本《写经缘起》残页上见有崇宁二年（1103 年）款。有认为其为泥活字本[33]，理由是：每行字排列不规则，字的大小和笔画粗细不一，墨色浓淡不一，有的字旋转了 90 度。也有人认为其仍为雕版本，理由是：经文上下字间，有的笔画相连[34]。须进一步研究。

泥活字在我国沿用了相当长一个时期，不但宋代有人使用，元代杨古、清代吕抚、翟金生（1775 ~ ? 年）等都曾制作过泥活字。有关情况下面还要谈到。在西方，活字印刷是到了 15 世纪中期才由日耳曼人古腾堡发明。

（三）西夏文木活字本实物

西夏不但雕版印刷较为发达，而且活字印刷也取得了很大成就，其中有西夏文活字本，也有汉文活字本，相当部分印本还保留了下来。从现有研究情况看，其中部分西夏文印本使用了木活字是肯定的，是否还使用了其他活字印刷，则有待进一步研究。

今公认的西夏文木活字本实物是佛经《吉祥遍至口和本续》。1991 年，宁夏贺





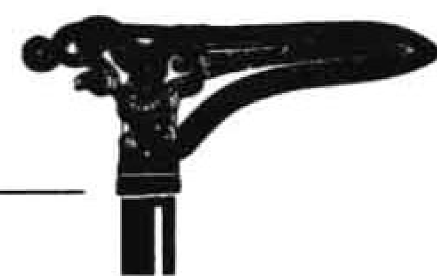
兰县拜寺沟方塔废墟清理出了10多万字的西夏文、汉文文献等大批文物；《吉祥遍至口和本续》便在其中，其9册，约10万字。它不但反映一般活字印刷的特点，同时显示了木活字的特点：（1）其版框四角不衔接，曾有大小不等的空隙。（2）虽然文字风格总体较为一致，但也有部分字体大小不一，有的笔锋、笔画粗细也不尽相同。（3）墨色浓淡不一，有的半深半浅，有的字根本没有印上。（4）个别字有印倒了的。（5）版心行线漏排。（6）残留有隔行竹片的印痕。有关学者认为，这些特点在雕版印刷中一般是不会出现的；这最后一点尤为重要，是将其定为木活字的主要依据；此恰与王祯《农书》所云木活字印刷，“排字作行，削成竹片夹之”的工艺相符。与此佛经伴出物中有西夏崇宗贞观（1102～1114年）西夏文木牌、仁宗乾祐十一年（1180年）发愿文，故应属于西夏中后期之物。经鉴定，这是我国今见最早的西夏文木活字印本实物。[35]～[39]

（四）西夏其他活版实物

除我国外，西夏文献在英、法、德、日、瑞典等国都有收藏，其中俄国圣彼得堡东方学研究所最多。如前所云，后者所藏是1909年俄国人柯兹洛夫（П. К. Козлов）在西夏故城黑水城得到的。这批资料除西夏文、汉文外，还有藏文、回鹘文、波斯文资料；不但数量大、种类多，而且内容丰富、具有极高的学术价值。早在20世纪70年代，就有英国学者提出了其中的西夏文佛经《维摩诘所说经》（简称《维经》，5卷）属活字版的问题；1981年，又有俄国学者提出黑水城的西夏文《三代相照言文集》（1册）和《德行集》（1册）为活字本；后来又有人在《三代相照言文集》中发现过“活字”题款。我国学者史金波在整理俄藏西夏文资料时，也认为上述三个活字本属实，并认为《大乘百法明镜集》（1卷）也属活字版[39][40]。

1987年，甘肃武威市新华乡缠山村西夏亥母洞发现一部西夏文佛经《维摩诘所说经》，今存4卷，总54面，计6400多字。依题款和其他伴出的西夏文物来看，当为西夏仁宗时期印本。孙寿龄[41]、牛达生[42]认为它是泥活字；史金波还认为，武威《维经》和黑水城《维经》具有同样的形制和特点，都应当是泥活字印本[40]。主要依据是：（1）有的字横竖交叉笔画不够连贯，不够笔直，有时形成结点，此当与泥上刻字不连贯有关。（2）有“气眼笔画”，这是泥质欠佳，或烧制过程中产生气眼所致。（3）有“变形笔画”，这是泥活字在煅烧时，字体变形所致。（4）文字有断边、脱落现象，这是泥质较脆所致。[39][41]我们基本上同意这一看法，即《维经》当为泥活字印成。

2001年，史金波对黑水城历书等资料进行了许多研究，认为其中有雕版本，也有活字本。其中有一部分汉文的历书残页印本，内容与敦煌发现的宋历基本形式相同；其将之定成了活字本，并认为它是迄今所见年代最早的汉文活字本实物。主要依据是：（1）字形歪扭，排列不整齐。如269号标本的“阴”字，扭位达20度左右。（2）字间距较大，各字之间并无相触、相交现象。大小字号皆为方形。（3）各字间的墨色浓淡不一。如8117号标本第2竖行中的“寨”字明显较其下的“兴”、“发”等字浓黑。（4）表格的横、竖线该相交处却往往不相交，横线与竖线间有空缺。（5）文字倒置（图6-7-1、图6-7-2）[43]。史金波认为此历书印



制地点为西夏，主要依据是：（1）因残历书出土于黑水城，为西夏管辖范围。（2）其中讳“明”字，当是避西夏太宗德明的名讳。其依据有关干支日、月分之大小等推算后认为，其印制时间为宋嘉定四年（1211 年）[43]。至于它是泥活字还是木活字版，则有待研究。

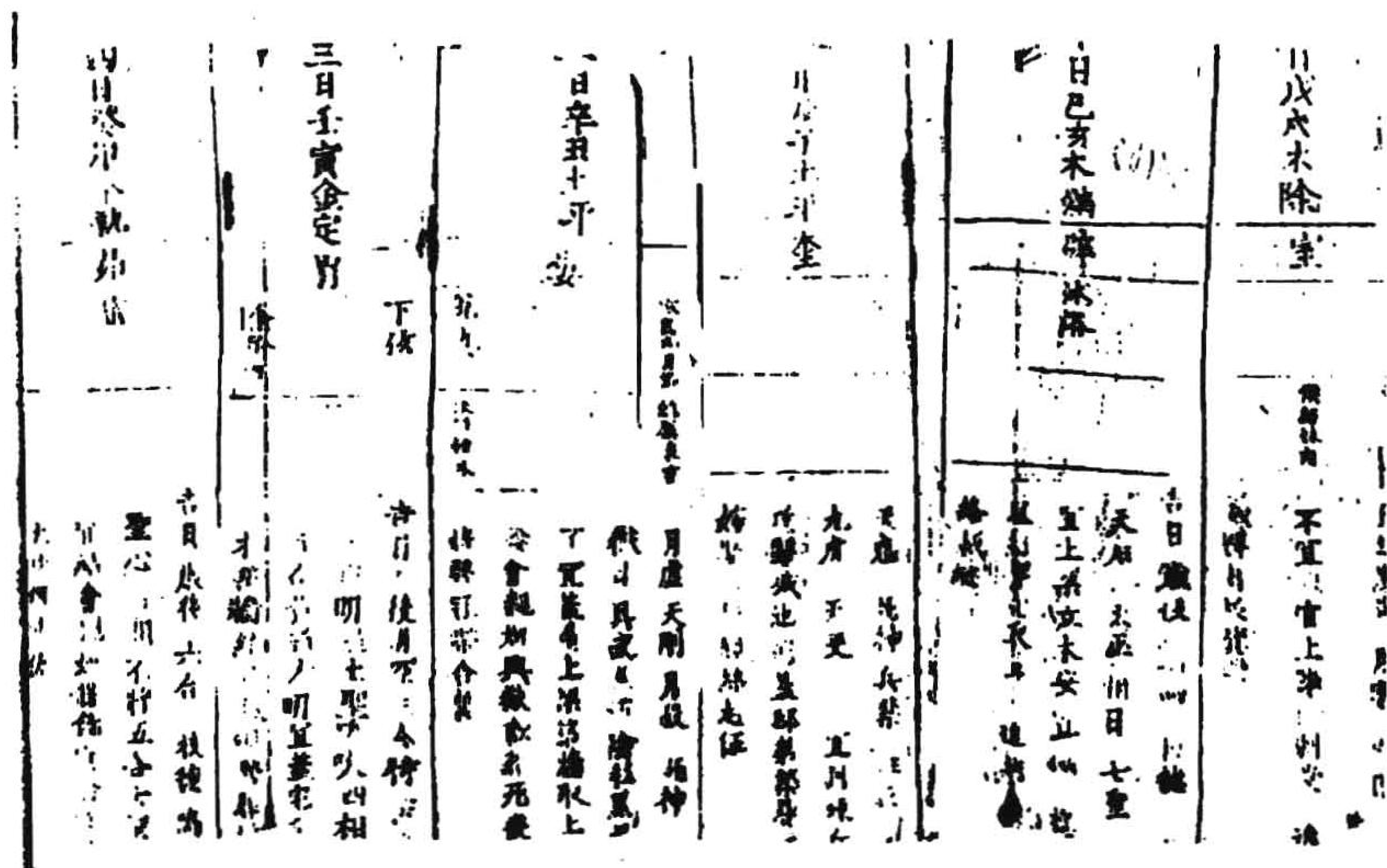


**图 6－7－1　汉文活字历书残页** TK－5469/V1

采自文献[43]

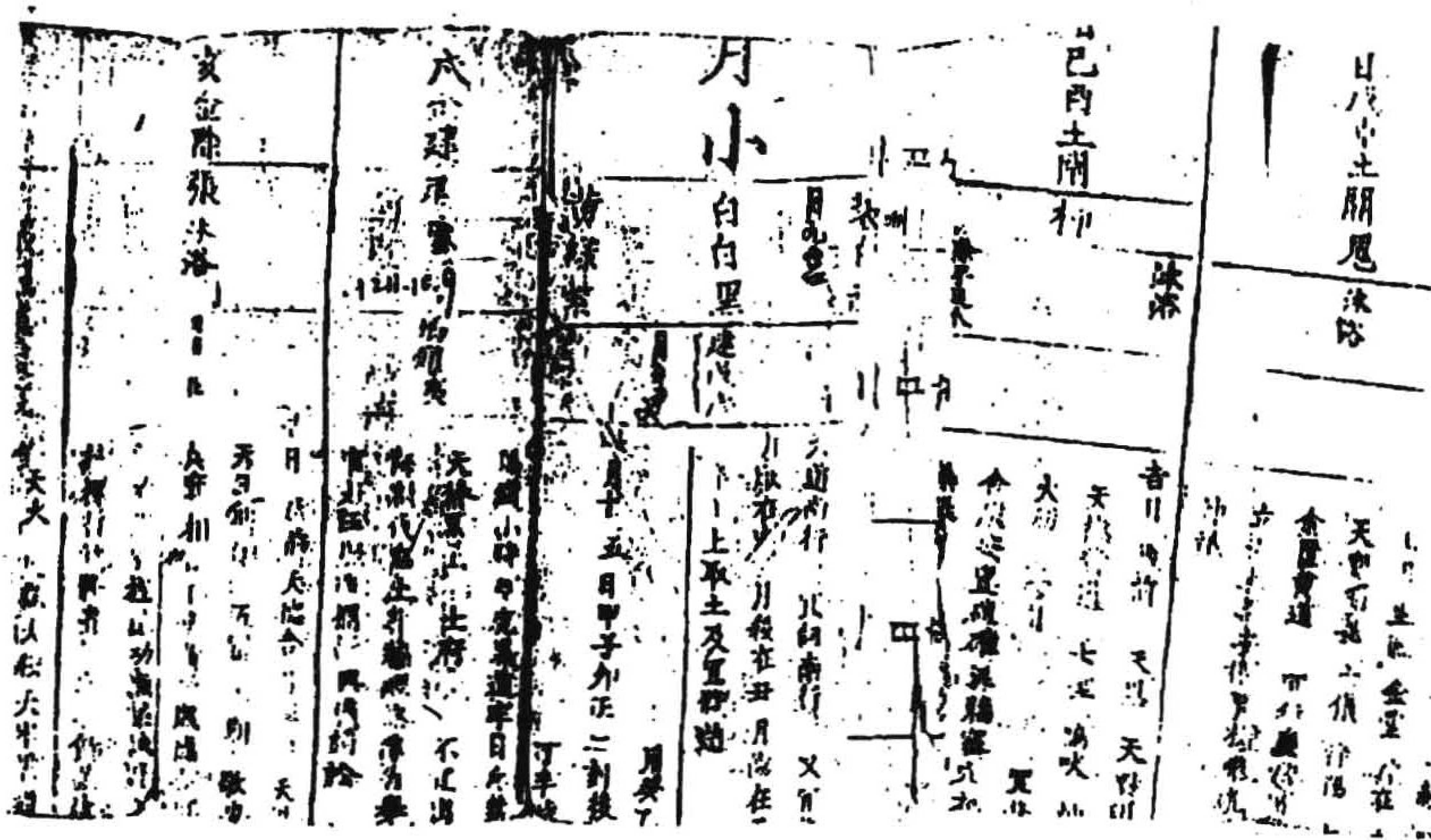


**图 6－7－2　汉文活字历书残页** TK－5469/V3

采自文献[43]

总之，西夏已较多地使用了活字印刷，其中有西夏文印本，也有汉文印本；西夏文佛经印本《吉祥遍至口和本续》是今公认的木活字本实物；西夏文佛经《维摩诘所说经》为泥活字印本、部分汉文历书为活字本亦属可信；这都是今见最早的活字本实物。宋代中原地区虽发明了活字印刷，所用主要是泥活字，但使用

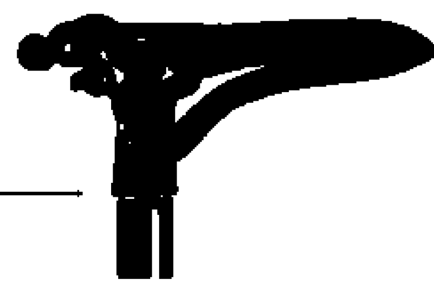
不是太多，木活字不太成功，确凿的泥活字本实物迄今尚未发现。

## 四、蜡版印刷的发明

从现有资料看，我国传统的蜡版印刷至迟发明于宋。何薳《春渚纪闻》卷二“杂记·毕渐赵谂”记载了这样一个故事:“毕渐为状元，赵谂第二，初唱第，而都人急于传报，以蜡[版]刻印，渐字所模点水不着墨，传者厉声呼云：‘状元毕斩第二人赵谂。’识者皆云不祥。而后谂以谋逆被诛，则是‘毕斩赵谂’也。”这个故事虽带有迷信色彩，但它却充分说明，宋时已有了蜡版印刷。此技术在宋、元、明都很少使用，唯清道光初，广州曾用它印刷报纸。

## 五、书写和印刷用墨技术的发展

随着造纸技术、印刷技术和整个文化事业的发展，宋代制墨技术也有了提高[44]。此时不但制作出了许多质地优良的书写、印刷用墨，涌现了一批制墨巧匠、制墨作坊和制墨中心，而且出现了一批关于墨的专著。宋晁季一《墨经·工》云:“凡古人用墨，多自制造，故匠氏不显。唐之匠氏，惟闻祖敏。”[45]宋代便发生了变化。宋张邦基《墨庄漫录》卷六云:“近世墨工多名手，自潘谷、陈瞻、张谷名振一时之后，又有常山张顺、九华朱覲、嘉禾沈珪，金华潘衡之徒，皆不愧旧人。宣、政间如关珪、关镇、梅鼎、张滋、田守元、曾知唯，亦有佳作者。”[46]当时不仅墨工造墨，甚至士大夫亦喜造墨、藏墨、品墨；茶以白为尚，墨以黑为胜，成为一时风尚。宋何薳《春渚纪闻》卷八“买烟印号”条载:“黄山张处厚、高景修，皆起灶作煤制墨为世业，其用远烟鱼胶所制，佳者不减沈珪、常和。”[47]此“煤”即烟黑，这种称谓至今仍在南方一些地方保存着。当时北方的制墨中心是汴京，墨工以潘谷、张孜最为著名；南方制墨中心是徽州，墨工以嘉禾沈珪较为著名。南宋庄季裕《鸡肋篇》上:“徽州世出墨工，多佳墨。”徽州墨的名气自此便一直沿袭了下来，直到20世纪。宋墨实物在考古发掘中亦可看到，如1976年、1978年，江苏武进县村前乡南宋墓出土残墨2块：一块呈舌形，残长8.3厘米、宽3.5厘米、厚0.9厘米，烟质，质地稍松；一块呈长条形，残长5.5厘米、宽2.2厘米、厚0.5厘米，墨黑而光亮，正面下半段有模印贴金字，残见一“玉”字；背面阴刻长方形铭框，框内残见“茂实制”3字。此“茂实”当为南宋制墨家叶茂实，其制墨年代当在理宗淳祐年间（1241~1264年）或稍后[48]。1988年，合肥市城南乡北宋马绍庭夫妻合葬墓出土墨锭2块，分置于男女棺中。女棺墨呈长梭形，长21厘米、最宽处3.4厘米、平均厚度0.7厘米，脱水后重47克，墨块正面楷书“九华朱覲墨”5字；“九华”即九华山，朱覲，人名，元、明两墨书都曾提到过朱覲和朱覲墨。女棺墨的背面也有纹饰，线框外两端各有一个阳文“香”字。男棺墨近于长方形，两头呈圭角形，长25厘米、最宽处5厘米、平均厚1.4厘米，干燥处理后重158.8克，正面线框内有阳文篆书“歙州黄山张谷……”字样，反面无字。两块墨皆系墨模制成[49][50]。宋代制墨技术的主要成就是：制墨原料有了扩展，较多地使用了油烟；松烟窑由立式转变成了卧式，烟黑收得率有了提高；较多地使用了和墨添加剂，并对其作用有了一定认识；和墨技术有了发展，采用多种措施提高了墨的润湿性；生产出了许多品质优良的墨锭。



（一）制墨原料的扩展

这主要表现在两个方面：一是制墨用松的产地有了扩展；二是使用了油脂烧烟。

1. 制墨松的产地扩展和分级

宋晁季一《墨经·松》条在列举了汉、唐制墨用松后说："今兖州泰山、徂徕山、岛山、峄山，沂州龟山、蒙山，密州九仙山，登州牢山，镇府五台，邢州潞州太行山，辽州辽阳山，汝州灶君山，随州桐柏山，卫州共山，衢州柯山，池州九华山及宣、歙诸山皆产松之所。"[45]可知宋代制墨之松几乎遍及全国。

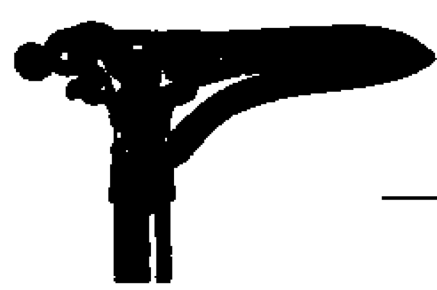
前面谈到，人们选择松木制烟作墨，乃因其富含松脂之故，故此选择标准便应是松脂含量。晁季一《墨经·松》条云："兖、沂、登、密之间山总谓之东山，镇府之山则曰西山。自昔东山之松色泽肥腻，性质沉重，品惟上上，然今不复有……西山之松与易水之松相近，乃古松之地，与黄山、黟山、罗山之松品惟上上，辽阳山、灶君山、桐柏山可甲乙，九华山品中，共山、柯山品下。"[45]此依据含脂量对全国之松作了质量分级。接着，晁季一又依据松树的生长情况，对制墨松树质量作了另一种形式的分级，云："大概松根生茯苓，穿山石，向生者（曰）透脂松，岁所得不过二三株，品惟上上；根干肥大，脂出若珠者，曰脂松，品惟上中；可揭而起，视之而明者，曰揭明松，品惟上下。明不足而紫者，曰紫松，品惟中上。矿而挺直者，曰籤松，品惟中中。明不足而黄者，曰黄明松，品惟中下。无膏油而漫糖苴然者，曰糖松，品惟下上。无膏油而类杏者，曰杏松，品惟下中；其出沥青之余者，曰脂片松，品惟下下。其降此外，不足品第"[45]。上、中、下各三品，计为九品。此"沥青"即松香。元代罗天益《卫生宝鉴》曾有详细说明。

2. 油脂的使用

油脂制墨工艺约始于宋，主要是植物油，另有部分矿物油（石油）。宋赵希鹄《洞天清禄集·古今石刻辩》云："北墨多用松烟，故色青黑；更经蒸润，则愈青矣。南墨用油烟，故墨纯黑。"[51]此话反映了当时的一个实情。但第二句有些不太确切，南墨依然是以松烟为主的，明代部分再谈。

何薳《春渚纪闻》卷八"桐华烟如点漆"条说："潭州胡景纯专取桐油烧烟，名桐花烟，其制甚坚……每磨研间，其光可鉴画工宝之，以点目瞳子。"[47]此便谈到了桐油烟所制之墨，黑如点漆。同书同卷还谈到了松烟、油烟、漆滓烟混合制墨的优点，其"漆烟对胶"条云："沈珪，嘉禾（今浙江嘉兴）人……出意取古松煤，杂用脂、漆滓烧之，得烟极精黑，名为漆烟"[47]。同书同卷"油松相半则经久"条又说到了松烟掺油烟制墨的优点，云："近世所用蒲大韶墨，盖油烟墨也……半以松烟和之，不尔则不得经久也"。好字，好墨，写在好纸上，就构成了中国特有的书法艺术。好墨的价钱也是十分昂贵的，《太平御览》卷六〇五"墨"条引云："范子计然曰：墨出三辅，上价，石，百六十，中三十，下十"。杨慎《升庵外集》卷一九云："宋徽宗尝以苏合油搜烟为墨，至金章宗购之，一两墨黄金一斤。"[52]

石油烟黑制墨始见于宋沈括《梦溪笔谈》卷二四，云："石油燃之如麻，但烟





甚浓，所沾帏幕皆黑，予疑其烟可用，试扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之，其识文为延州石液者是也。此物后必大行于世。自予始为之”。利用石油之烟制墨，是我国古代炭黑工艺中的一项重要发现。其墨名之为“延州石液”，说明此石液原为延州所产。此“石液”原指石油，今延伸为石油烟黑所制之墨。宋代之后，制墨用油又有了进一步扩展。

（二）松烟制作工艺的进步

松烟墨和油烟墨的工艺原理是一致的，但因原料不同，故具体操作又存在不少差别。松烟是在窑炉中制备的，油烟却在特殊油灯下获得；油烟粒度较细，松烟粒度稍粗，故在胶、烟配合比等操作上都有一定的差别。

1．松烟窑炉的分类和结构

松烟制作主要在窑炉中进行，制烟窑炉分立式和卧式两种，与制陶同样，最先发展起来的也是立式窑，卧式窑约始见于宋。

宋晁季一《墨经·煤》云：“古用立窑，高丈余，其灶腹宽小口，不出突，于灶面覆以五斗瓮，又益以五瓮，大小为差，穴底相乘，亦视大小为差，每层泥涂，惟密约瓮中煤厚，住火，以鸡羽扫取之。”此“古”的具体含义不明，当指晁季一之前的整个时期。此立窑，其实是叠置的6个大瓮，瓮间以小孔相通，以构成气体通道。从现代技术原理看，烧制炭墨的技术要点是：使碳氢化合物在适当的高温下发生分解，但不完全燃烧，使生成的细小炭黑微粒有效地沉积下来。此立窑以底部开孔且相连的六瓮，组成一个完整的热裂、炭化、沉集系统，生成的炭粒在上升过程中可依颗粒大小自动分级，便较好地满足了制烟的技术要求。这是我国古代一项出色创造，其空气流量可适当控制，操作亦较简便。

立式窑的缺点是叠瓮高度有限，一些粒度十分细小的炭黑会随轻烟逸散，从而降低了收得率。宋人所用主要还是卧式窑。晁季一《墨经·煤》云：“今用卧窑，叠石累矿，取冈岭高下形势向背，而长或百尺，深五尺，脊高三尺，口大一尺。”在燃烧室与烟室间有2尺见方的“胡口”（咽口）相通，因烟道较长，有利于烟黑逐级沉积，从而提高了收得率。宋李孝美《墨谱法式》卷上“造窑”条说得较为明白：“造窑：用板各长九尺，阔尺余，每两板对倚，相次全用泥封合，窑梢一角为突（原注：盖以高下角突，大小约二寸，径合如。窑病，燃火有碍，及出烟不快，即开突，斟酌修治。事讫，复闭之）。窑心地面上亦有出气眼（原注：直通突外，以备出气）。其窑至十二步陡低，一边留取煤小门，一边用石板对倚为巷，至六步为大巷；又渐小一步为拍巷；又五步节次低小为小巷；又半步为燕口（只开二寸，高五寸）。大堂下安台，台下凿两小池（一池以备积灰，一池以浸小扫帚，以备扫灰）。”[53]此说得较为详细，窑尾还设有烟囱。但图示（今略）表示得不太清楚，其中“板”的含义便不太明确。依晁季一《墨经》所云，窑是叠石而成的，从《墨谱法式》的图示来看，烧烟窑系以砖砌成。

2．松烟的烧制

大体上可区分为削枝、发火、取煤三项操作。

削枝。松枝采来后，须经适当加工方能入窑。宋李孝美《墨谱法式》卷上云：“采松之肥润者，截作小枝，削去签刺，惧其先成白灰，随烟而入则煤不





醇美。”[53]

“发火”。这是制烟的一项重要操作，关键是不能使之完全燃烧。宋李孝美《墨谱法式》卷上“发火”条云：“发火，要活，不用多然。然死，灰多，则墨不黑也。廷珪墨所以妙，正缘此。此造法第一关也。”[53]立式窑的发火操作今已难得了解，晁季一《墨经·煤》条谈到了卧式窑的发火操作是“以松三枝或五枝徐爨之。五枝以上烟暴，煤粗；以下则烟缓，煤细。枝数益少，益良。有白灰去之，凡七昼夜而成”。可见在卧式窑中，投柴量是影响烟黑粒度和产量的一个重要因素，通常“以松三枝或五枝”为宜。完全燃烧过的“白灰”须及时清除，以免降低炭粒的黑度。

取煤及煤之质量鉴别。《墨谱法式》卷上云：“烧煤。自发火止于十日，不候窑冷，令人开巷边小门而入，以扇子取，分前后中为三等。唯后者最优（原注：《墨苑》云，突之末者为上），中者次，前者又其次。”这里谈到了取煤法和烟黑分级法。此质量分级法，实际上是一种风选法，远者轻者为良，近者重者为次之。宋晁季一《墨经》也有类似的质量分级法：“煤贵轻……凡器大而轻者良，器小而重者否。凡振之而应手者良，击之而有声者良，凡以手试之而入人纹理难洗者良，以物试之自然有光成片者良。”晁季一的认识似乎更深了一步，这显然是在大量实践经验的基础上总结出来的。1975 年，美国学者 J. Winter 用扫描电镜能谱分析了一幅 14 世纪的中国画上的墨，其炭黑粒度皆处于 0.05 ~0.1 微米，未见粗大颗粒，达到了现代炭黑的粒度水平。

（三）油烟制作工艺

油烟的获取系在一种特制油灯下进行的。宋李孝美《墨谱法式》卷下“油烟墨”条云：“桐油二十斤，大麄碗十余只，以麻合、灯心旋旋入油八分，上以瓦盆盖之，看烟煤厚薄，于无风净屋内以鸡羽扫取，此二十斤可出煤一斤。”又法为：“清油、麻子油、沥青作末，各一斤，先将二油调匀，以大碗一只，中心安麻花，点着旋旋掺入沥青，用大新盆盍之，周回（围）以瓦子衬起，令透气薰取，以翎子扫之。”这两种方法都说到了要在油的火焰上“以瓦盆盍之”，目的是令其不完全燃烧，且收集烟黑。

（四）和墨技术

和墨，即把炭黑用胶和制。胶与炭黑的比例，炭黑的湿润性和它在胶液中的分散度，对墨的质量都有重要影响。

质地优良的墨，当是色黑，且莹润、坚硬、耐磨。为此，尤为重要的是控制好动物胶与炭黑的比例。一般而言，胶多煤少，则墨块硬度高、黑度低。《齐民要术》第九十一所云配比为煤一斤，好胶五两。宋代用胶量稍低。晁季一《墨经·和》云：“凡煤一片（斤），古法用胶一斤，今用胶水一斤，水居十二两，胶居四两……胶多利久，胶少利新。匠者以其速售，故喜用胶少。”此说的是松煤。宋李孝美《墨谱法式》卷下“法”条谈到了庭珪墨、仲将墨、多种古墨、多种油烟墨的和制法，其中一种“油烟墨”为：“每煤四两，用颍川梳头胶一两，先以秦皮水煎取浓汁四两，并胶再熬匀化，搜煤”。宋代和墨的主要特点是规定了胶与水之比例。

人们对胶的质量历来十分重视，宋人对此则又有了进一步的认识。《墨经·胶》载:“凡墨，胶为大，有上等煤而胶不如法，墨亦不佳。如得胶法，虽次煤能成善墨。且潘谷之煤，人多有之，而人制墨莫有及谷者，正在煎胶之妙。”[45]《墨经》最推崇的是鹿胶，次为牛胶，并认为制牛胶时“火不可爆”，虽高温可提高胶原纤维的水解，但原胶的次级水解产物量也会增加，从而降低了胶的质量。该书又认为:“墨胶不可单用，或以牛胶、鱼胶、阿胶参和之。”[45]几种粘度不同的胶掺合使用，主要为改善其粘结性能。

依现代技术原理，用胶量应主要取决于炭黑的粒度；粒度越小，表面积越大，充分浸润和粘结所需的胶量越多，所以和墨时的油烟用胶量应较松烟稍大。到明代，人们对此便有了进一步的认识。

（五）添加剂的使用

除了煤、胶、水外，制墨还要加入许多添加剂。其主要目的是防腐、助色、增香、润湿，以及调节酸度等。添加剂的使用，是中国墨的一大特色。

前云三国韦仲将墨、北魏贾思勰墨的添加剂中有秦皮汁、鸡子白、朱砂、麝香4种原料，唐五代时添加剂种类有了一些新的变化，五代李廷珪墨用了十二种添加剂。及宋，李孝美《墨谱法式》卷下“叙药”条甚至谈到了45种，计有：调色剂地榆、藤黄、苏木、丹参、黄连、朱砂、五倍子等；增香剂麝香、龙脑、白檀香、丁香等；防腐剂巴豆、猪胆、藤黄、胆矾等；润湿剂鸡子白、皂角、生漆等；酸碱调节剂绿矾、胆矾等；有的药往往还兼有多种功效。如此之多，达到了前所未有的高峰。

在历史上，添加剂的使用经历了一个“少—多—少”的过程，宋代大约是最多的，之后便逐渐减少下来。其实，添加剂过多，反会降低墨的质量，宋人对此也是有了一定认识的。宋何薳《春渚纪闻》卷八“记墨·烟香自有龙麝气”条云：“凡墨入龙、麝，皆夺烟香而蒸湿，反为墨病，俗子不知也。”物极必反，故宋代也有人回至原始状态，只用烟和胶两种物料，不用任何添加剂的。宋晁季一《墨经·药》条在谈到了李廷珪墨用药12种后说:“今兖人不用药为贵。其说曰：‘正如白麵清麵，又如茶之不杂以外料。’亦自有理。”但作者还是认为：凡做墨，无药者“不及药者良”[45]。

## 第八节　火药技术的进步和初级火器的出现

我国古代火药技术约发明于唐代中期，但军事上的应用却是北宋初期，即10世纪晚期的事[1]。南宋和金代，多种火器都登上了历史舞台。

宋代的初级火器主要有三种不同类型：即燃烧型、爆炸型、管型。此外，喷气推进型亦初露了端倪。它们都是近现代各种火器的始祖。北宋火器主要是燃烧型，依靠弓、弩以及抛石机来发射。当时的火药常以纸包裹，以麻缚定；含硝、含炭量一般较低，多呈膏状，没有火捻；靠烧红的烙锥发火。爆炸型火器在北宋也已开始出现。南宋时期，火器技术有了较大发展，爆炸型火器逐渐推广开来，并出现了管形火器；烟火，作为后世喷气推进火器的前身，在北宋末、南宋初也



已使用。火药中含硝量有了增加，粉状火药开始出现，并使用了铁制的火药罐。

**一、初级火器的出现**

说我国古代火器约出现于北宋早期，主要有下面几条依据：

《宋史》卷一九七“兵志·器甲之制”云：宋太祖开宝三年（970年）五月，“兵部令史冯继昇等进火箭法，命试验，且赐衣物、束帛”。成书于《宋史》之前的王应麟《玉海》（1267年）卷一五〇亦有类似说法：“开宝二年（969年）三月，冯继昇、岳义方上火箭法，试之，赐束帛。”[2]此二说内容基本一致，唯时间相差了一年，可能是刊误。当时赵匡胤尚未平定天下，急需先进兵器对南汉、南唐用兵，故对冯继昇予以赏赐是可想而知的。此“火箭法”是新进献的，且需进行试验，一般认为是以弓弩发射火药的火箭，而不是旧式的油脂火箭。

《宋史》同卷又云：咸平三年（1000年）“八月，神卫水军队长唐福献所制火箭、火毬、火蒺藜”。

明人丘濬《大学衍义补》卷一二二“严武备·器械之利下”云：咸平五年（1002年），“石普言能发火球、火箭”[3]。

前引许洞《虎钤经》（1004年）卷六注云：“飞火者，谓火炮、火箭之类也。”说明1004年前，“火炮”、“火箭”类火器已不少见。此“火炮”当指抛石机发射的火药包。炮者，包也，包火也。这是古代文献中较早将这种火器称之为“火炮”的地方。炮，原为烧烤意，《诗·小雅·瓠叶》：“有兔斯首，炮之燔之”。《宋本玉篇》：炮，“炙肉也”。这种投掷火药包的抛石机，前引《武经总要》“前集”卷一二也曾提到。

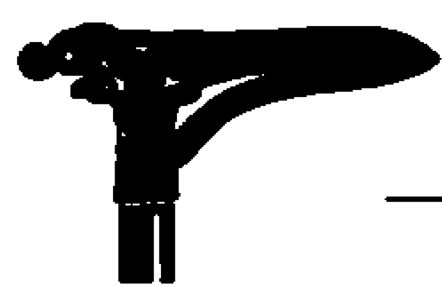
这些，都是我国古代关于火药火器的最早记载。之后，有关记载便明显地增加起来。曾公亮（999～1078年）和丁度（990～1053年）于1044年奉宋仁宗之命编纂了《武经总要》一书，其“前集”的卷一一、一二提到的火器名称与上述完全一样，并记述了三种火药配方。这也是今世学者把上述三例“火箭”皆定为火器的重要依据之一。

火药火器的使用，结束了人类历史上几千年来冷兵器独占鳌头的时代，开始了火器与冷兵器并存，并逐渐取代冷兵器的过程。此过程大体相当于宋到清，前后约900年。军事技术史家常把火器的使用作为兵器技术史的一个分界线，唐和唐代之前，战争中所用基本上都是冷兵器，便谓之冷兵器时代；宋代之后，由于火器的使用，便进入了火器与冷兵器并用的时代；1840年之后进入火器时代。由宋到元明清，火器的数量，及其在战争中的地位，是逐步增加和不断加强的；宋代依然以冷兵器为主，火器亦基本上依靠抛石机和弓、弩来发射。

由于战争的需要，宋代对火器，以及各种兵器都十分重视。《宋史》卷一九七载：“器甲之制，其工署则有南北作坊，院有弓弩院，诸州皆有作坊，皆役工徒而限其常课。”军器作坊内分工较细，王得臣《麈史》卷一云：军器监中除设八作司外，又设广备攻城作，“其作凡十一目，所谓火药、青窑、猛火油、金火、大小木、大小炉、皮作、麻作、窑子作是也，皆有制度作用之法”[4]。

**二、初级燃烧型火器的主要类型**

这类火器的功能主要是燃烧，有的尚兼有施放烟幕和毒气等作用，它是火器





的最早形态。前云开宝三年冯继昇等所进“火箭”、咸平三年唐福所制“火箭”、“火蒺藜”、咸平五年石普所发火球、火箭等皆属这一类型。据有关学者统计，宋、元、明时期的燃烧性火器约有五六十种，大体都是依靠外力来抛射的。依照发射方式之别，宋代燃烧性火器主要有下列两种类型。

（一）“弓弩火药箭”和“火药鞭箭”

这是两个不同类型的火药箭。

1. 弓弩火药箭。这是指以弓和弩来发射火药包的装置，此火药通常用纸包成球状或卷筒状，绑在箭杆前端，引燃后射出。北宋大约多用烙锥点火，之后逐渐改用了火捻。庆历四年（1044 年）成书的《武经总要》“前集”卷一三载：“火箭，施火药于箭首，弓弩通用之，其傅药轻重，以弓力为准。”[5]此“火箭”即弓火药箭和弩火药箭，引文简要地说到了它的基本特点。

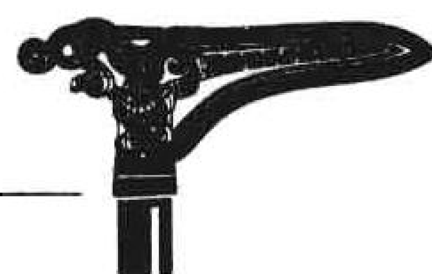
“火箭”之名始见于三国时期，《三国志·魏书·明帝纪》注引《魏略》载：诸葛亮于建兴六年（228 年）攻陈仓（宝鸡东），“起云梯、冲车以临城”。魏守将郝昭“以火箭逆射其云梯，梯然（燃），梯上人皆烧死”。之后的《北史》卷六二“王思政传”、《宋书》卷九二“杜慧度传”等，都谈到了“火箭”。早期“火箭”的原意应是“带火之箭”，此“火”应是油脂等易燃物所生，而不是火药。其制作和使用之法通常有二：（1）在箭上束草或捆布，再浇上油脂之类的易燃品，点火后发射出去；（2）分两次发射，第一次把挂有油葫芦的箭射出，向敌营泼油，第二次再发箭引火[6]。两种方法都少不了油脂。为区别起见，这种早期火箭可称之为“纵火火箭”，或“油脂火箭”。

其实，这种带火之箭的起源尚可进一步上推到先秦时期。《周礼·夏官·司弓矢》所载“八矢”之中，便有带火者。云：“枉矢、絜矢，利火射，用诸守城、车战”。此“火射”，意即“带火而射”，也即是带火之箭。郑玄注云：此“二者皆可以射敌、守城、车战”。自然，先秦带火之箭也不能排除了使用油脂的可能性；若无油脂而只用松明之类明火，其效果恐怕是较差的。

大约北宋中期，关于弓弩火药箭更为明确的记载便急剧增多起来。《武经总要》“前集”卷一二载：“放火药箭者如(加)桦皮羽，以火药五两贯镞后，燔而发之。”[7]这里说到了火药包所用“火药”的数量，及其在箭杆上的位置和点火时间。如前所引，同书卷一三也说到了火药箭的装置，并指出火药包的重量应以弓力之大小为准。

2. 火药鞭箭。亦始见于北宋时期。它是一种借助于竹竿的弹力，来投掷火药包的一种装置。《武经总要》“前集”卷一二载：“鞭箭，用新青竹，长一丈，径半寸为竿，下施铁索，稍系丝绳六尺。别削劲竹为鞭箭，长六尺，有镞，度正中施一竹臬（原注：亦谓之鞭子）。放时，以绳钩臬，系箭于竿，一人摇竿为势，一人持箭末激而发之……放火药箭者如（加）桦皮羽，以火药五两贯镞后，燔而发之。”[7]前数句所云为非火药的普通鞭箭及其制作和甩掷情况，后三句所云便是火药鞭箭。此二者的发射方式相同，都借助于竹竿的弹力；不同处是：一个无火药包，一个带有火药包。

此两种火器都发明于北宋时期，前者，即弓弩火药箭使用较多，南宋时期仍



在大量制造，并在战争中曾起到过十分重要的作用。

赵与衮《辛巳泣蕲录》载：南宋宁宗嘉定十四年（1221 年）金兵围蕲州，三月十六日："出弩火药箭七千只，弓火药箭一万只，蒺藜火砲三十只，皮大砲二万只"[8]。可见此数量之巨。这里提到了"弓火药箭"和"弩火药箭"，这个命名是十分得体的。此"火砲"实指"火药包"，原是纸壳等包裹的火药球。

《续文献通考》卷一三一"兵考"载，金天会八年（1130 年）四月，金与南宋战于江，金兵"乘轻舟以火箭射之，烟焰蔽天，守军大溃"。所说金人向南宋使用之火箭，当也是弓弩火药箭。

（二）机发火药炮

这是以抛石机发射火药包的装置。其至迟出现于咸平三年（1000 年），即前云神卫水队长唐福在当年进献的火球和火蒺藜。稍后的《武经总要》前集谈到的蒺藜火球、铁嘴火鹞、竹火鹞、霹雳火球，大体都属这一类型。

蒺藜火球。《武经总要》"前集"卷一二载：蒺藜火球，"以三枝六首铁刃，以药药团之，中贯麻绳，长一丈二尺，外以纸，并杂药傅之。又施铁蒺藜八枚，各有逆鬚。放时，烧铁锥烙令焰出"[7]（图 6－8－1）。此蒺藜火球便是机发式火药包。"三枚六首铁刃"和"铁蒺藜八枚"的具体形态未能详知，大约都是待火药包燃烧完毕后，遗留地面以阻敌骑兵的障碍物；前者类于"拒马"，三枚铁棍，互成 120 度的方式联结在一起，无论如何滚动，都是三脚着地一刃朝上。

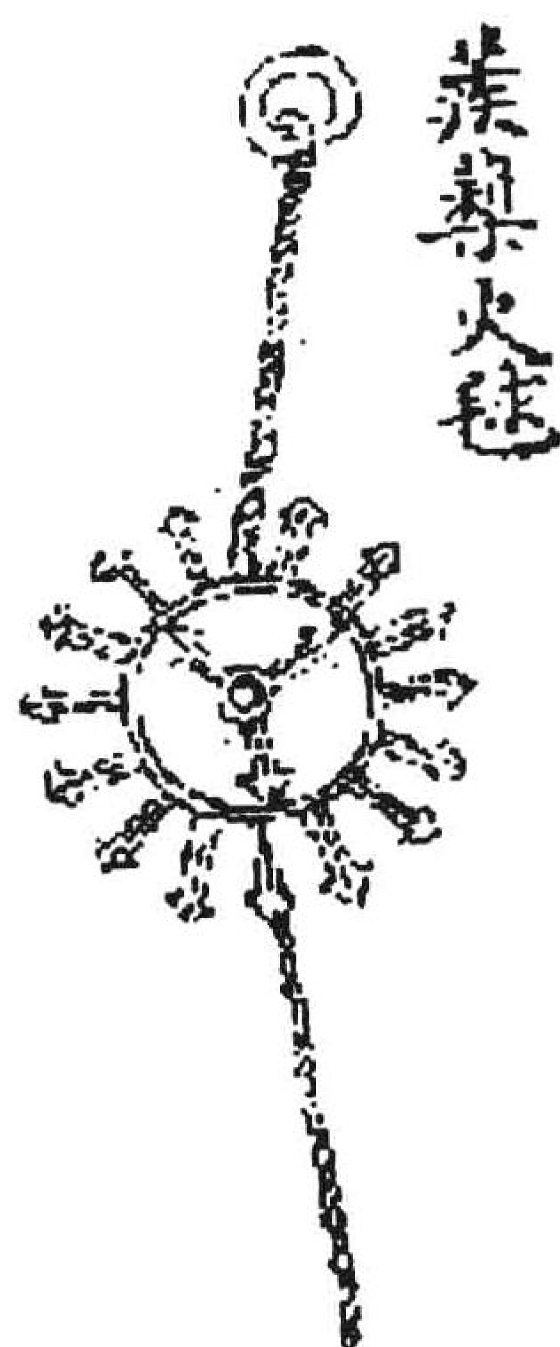



图 6－8－1　《武经总要》所载蒺藜火球

竹火鹞。同书同卷载："竹火鹞，编竹为疏眼笼，腹大口狭，形微脩长，外糊纸数重，刷令黄色，入火药一斤，在内加小卵石，使其势重束杆草三五斤为尾……若贼来攻城皆以砲放之。"[7]

霹雳火球。是兼有燃烧、施毒的火器。同书同卷云："霹雳火毬，用干竹两三节，径一寸半，无罅裂者，存节勿透，用薄瓷如（加）铁钱三十片和火药三四斤，裹竹为毬，两头留竹寸许，毬外加傅药（火药外傅药注：具火毬说）。若贼穿地道攻城，我则穴地迎之，用火锥烙毬，开声如霹雳。然以竹扇簸其焰，以薰敌人。"[7]

北宋初期，火球类火器的包壳主要是纸壳，大约北宋后期，又出现了陶壳、瓷壳。纸壳曾见于《武经总要》，后二者在馆藏实物和考古发掘中都可看到。中国国家博物馆藏有宋代夹砂红陶火蒺藜一枚，器呈罐形，小口大腹；高 10 厘米，横径 16 厘米（包括刺长），上部隆起有小孔，外表布有 28 枚刺钉，罐内中空[9]；又藏有辽代陶蒺藜罐 2 枚，辽代青釉火药投弹一枚。后者呈瓶状，收口尖底，不能正立放置。高 13.1 厘米，最大径 8.1 厘米，壁厚 1.2 厘米[10]。1983 年，天津市蓟县一次就出土陶蒺藜 594 枚，径 10～20 厘米[11]。辽宁抚顺出土有金代馒头形瓷

蒺藜[12]。

机发火球技术在宋代得到了迅速的推广，并成了战场上的常用武器。《宋会要辑稿》“兵”二九之三二载，建炎三年（1129年），监察御史林之平曾建议福建、广东沿海船只“用望斗、箭隔、铁撞、硬弹、石砲、火砲、火箭及兵器等，兼防火家事之类”。包恢《敝帚藁略》卷一载：“今欲少效火攻，则所在军中自有火礮之法，左统领自有见成可用之炮。”这些都在一定程度上反映了火炮、火箭在宋代战争中广泛使用的情况。这里同时提到了“石炮”和“火炮”，前者当是抛石之砲，后者则是抛火药之炮①。

此外，北宋时期还有一种机发“火枪”[13]，其兼具了燃烧和刺杀的功能。《武经总要》“前集”卷一二在谈到“单梢砲”的使用方法时说：“凡一砲，百人拽，一人定放，放八十步外，石重二十五斤。亦放火毬、火鸡、火枪、撒星石，放及六十步外。”[14]即是说，单硝砲主要投射石块，亦投放火毬（或火球）、火鸡（或火鹞）②、火枪等。此“火枪”便是用抛石机投射出去的、带火药的矛头。

三、初级爆炸型火器的主要类型

爆炸型火器约出现于11世纪中期，有学者认为，《武经总要》“前集”卷一二所云霹雳火球，应是爆炸型火器的“先声”[15]。据研究，霹雳火球的火药配方与蒺藜火球相同[16]。从模拟试验情况看，在已知的唐、宋火药配方中，霹雳火球的燃烧热、燃烧气体产物比容、燃烧速度，都是较大的[17]，故有学者认为它具有了较强的爆发力，能够爆炸[16]。文献上关于爆炸型火器的较早战例是靖康元年（1126年）的汴梁之战和绍兴辛巳（1161年）的采石矶之战。从历史上看，我国古代爆炸型火器主要有三种类型，即爆炸弹、地雷和水雷。宋代主要是前者，后二者大约都是明代才出现的。宋代爆炸弹主要两种：即“霹雳炮”（纸壳）和“震天雷”（铁壳），大约都可使用人力或抛石机投掷。最初的炮弹壳是一层层厚纸，之后才发展成了陶质壳、铁壳，并有了火捻。铁壳炮是金人于1221年最先使用的。

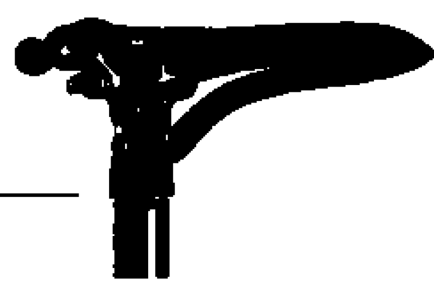
（一）霹雳炮（纸壳火炮）

这是纸壳爆炸弹，是一种早期的爆炸型火器，主要功能是制造烟幕，造成惊恐和燃烧，直接杀伤力很小。

《续资治通鉴长编拾补》卷五三载：靖康元年（1126年）二月壬寅，李纲守汴梁之战，“先是蔡懋号令将士，金人近城不得辄施，故有引砲及发床子弩者皆杖之，将士愤怒。纲既登城，令施放自便，能中贼者厚赏。夜发霹雳砲以击之，军皆惊呼”[18]。此炮施于夜晚，主要目的当非施烟；又结合其“霹雳”之名来看，当具有一定爆炸能力。这应是我国古代使用爆炸型火器的最早战例。

① 砲、礮、炮，古人亦常混用，本书在引用古代文献时，皆尊重原版字形；正常行文时，则将抛石机投掷的石砲称之为“砲”；砲者，包石也，抛石也；曹叡《善哉行·我徂》是较早地提到这个“砲”字的地方之一（见本书第四章第五节）；而将抛石机投掷出去的各种火药包称之为“机火砲”或“机火炮”；炮者，包火也，抛火药之火也；前引“四库”本《虎钤经》是较早将抛石机投掷的火药包称之为“炮”的地方之一。元明之后的大口径管形火器则直呼为“炮”或“火炮”

② 毬，球的异体字，《武经总要》等多写作“毬” 本书在引用古籍时，皆尊重原版字形；正常行文中，一般写成球。鹞，鹰科。火鹞、火鸡（鸡），两个名称在《武经总要》中都曾提到。



杨万里《诚斋集》卷四四“海鳍赋·后序”载：绍兴辛巳（1161年）虞文在采石矶之战大破金兵，“人在舟中蹈车以行船，但见舟如飞而不见有人。敌以为纸船也。舟中忽发一霹雳礮，盖以纸为之，而实之以石灰、硫黄。礮自空而下，落水中，硫黄得水而火作，自水跳出，其声如雷，纸裂而石灰散为烟雾，眯其人马之目，人物不相见。吾舟驰之，压敌舟，人马皆溺，遂大败之云”[19]。此“礮”，即霹雳炮，即用纸包裹的火药包；它能“自水跳出”，显然具有了一定的爆炸力，但似不能伤人，主要功能是燃烧后造成惊恐，并“眯其人马之目”。

（二）火罐炮（陶火炮）

这是一种带有火捻的陶壳爆炸弹。据金人元好问（1190～1257年）《续夷坚志》卷二“狐锯树”条载，金世宗大定二十九年（1189年），阳曲（今山西定襄县）北郑村有铁李者，以捕狐为业，“李腰悬火罐，取卷爆，潜爇之，掷树下，药火发，猛作大声，群狐乱走，为网所罥，瞑目待毙，不出一语，以斧椎杀之”。显然，此“火罐”是一种陶质的“火罐炮”。其内装火药，上面的小孔安火捻，使用时，点燃火捻，火罐爆炸，狐群惊逃，从而落入阴设的捕网中，再用斧将其砍死[20]。

（三）震天雷（铁火炮）

这是一种铁壳炸弹，为13世纪早期金人创制。主要特点是使用了生铁外壳，有了火捻，从而具有了较大的直接杀伤力。南宋和元代都曾大量生产和使用，当时便有了“铁火炮”之名。这是金代、南宋火器技术的一项重要成就。

《辛巳泣蕲录》云：南宋嘉定十四年（1221年），金人进攻蕲州，继以铁炮攻之，“十一日，番贼攻击西北楼，横流砲十有三座，每一砲继一铁火砲，其声大如霹雳”。此“铁火砲”，实是一种铁壳炸弹，“其形如匏状而口小，用生铁铸成，厚有二寸”[21]。这里谈到了铁质炸弹的外形和厚度。

《金史》一一三“赤盏合喜传”载：金哀宗天兴元年（1232年），蒙军进攻金兵据守的开封，金兵“攻城之具有火砲名震天者，铁罐盛药，以火点之，砲起火发，其声如雷，闻百里外，所爇围半亩之上。火点著，甲铁皆透”。“人有献策者，以铁绳悬震天雷者，顺城而下，至掘处火发，人与牛皮皆碎迸无迹”。这里谈到了“震天雷”的名称和威力。

宋代爆炸弹的生产和使用量都较多，而且威力较强。李曾伯《可斋续藁·后》卷五载：“火攻之具，则荆淮之铁火砲动（辄）十数万只，臣在荆州，一月制造一二千只，如拨付襄、郢皆一二万。”[22]可见此“铁火砲”（炸弹）数量之巨。《宋史》卷四五一“马暨传”载，南宋景炎二年（1277年），宋将马暨坚守静江（今桂林），抗击元军。静江陷落时，部将娄钤辖250人退守月城，后因粮尽而无法坚守，“娄乃命所部入拥一砲然之，声如雷霆，震城城皆崩，烟气涨天外，兵多惊死者。火熄，入视之，灰烬无遗矣”。此“砲”当是就地引爆的一种爆炸弹，并无抛石机一类投射装置。

显然，“铁壳砲”的出现，当受到过北宋初年纸蒺藜、北宋后期的陶蒺藜、瓷蒺藜，以及陶质火罐炮的启发和影响。

在宋代爆炸型火器中，纸壳爆炸弹“霹雳炮”杀伤力较小，主要用于燃烧；

陶壳爆炸弹的杀伤力也不是太大；宋代爆炸型火器主要是名为“震天雷”的铁壳炸弹。

**四、初级管形火器的主要类型**

管形火器是依靠火药在发射管内燃烧后产生出来的喷射力来杀伤敌人的，最初管形火器以竹筒为发射管，没有子弹，只能喷射火焰、毒气或砂子，之后才发展成了发射子弹的管形火器。管形火器的出现，是火器技术的一大进步。宋代管形火器主要有如下几种：

（一）“长竹竿火枪”。其以竹筒为枪管，始见于绍兴二年（1132 年）。制法是：将装有火药的竹筒（管）绑在长竹竿上，两人共持一根竹竿，作战时，点燃火药使之向前喷火，以焚烧敌方战具和营寨。据陈规《守城录》卷四载，绍兴二年时，宋德安（今湖北安陆）守将陈规“以火砲药造下长竹竿火鎗二十余条……皆用两人共持一条，准备天桥近城于战棚上下使用”[23]。《宋史》卷三七“陈规传”载，陈规守德安时，“以六十人持火枪自西门出，焚天桥以火牛助之，须臾皆尽”。这是使用管形火器的最早记载。

（二）飞火枪。兼具了喷火管和枪锋的装置。此“枪”是一种长柄且有尖头的直刺、投刺兵器，《墨子·备城门》篇：“枪二十枝。”《旧五代史·王彦昌传》：彦章以骠勇闻，“常持铁枪，冲坚陷阵”。“飞火枪”是绑有火药管，一种能“飞火”的枪（长矛），它兼具了冷兵器和火器的功能。现代步枪附带刺刀，当是同一道理。一般认为飞火枪系金人所创制。

《金史》卷一一三“赤盏合喜传”载：金哀宗天兴元年（1232 年），蒙军攻金兵据守的开封，金兵有“飞火枪，注药以火发之，辄前烧十余步，人亦不敢近”。此“注药”二字，说明其药装于筒中；“飞火”、“烧十余步”，即是喷火之意。这是关于飞火枪的较早记载。

《金史》卷一一六“蒲察官奴传”载：天兴二年（1233 年）五月五日，金归德守军将领蒲官奴祭天，令“军中阴备火枪战具”。“枪制以敕黄纸十六重为筒，长二尺许，实以柳炭、铁滓、磁末、硫黄、砒霜之属，以绳系枪端。军士各悬小铁罐藏火，临阵烧之，焰出枪前丈余，药尽而筒不损。盖汴京被攻已尝得用，今复用之”。这里详细地谈到了“火枪”的结构、制作和使用方法。可见火药是系于枪端使用的，作战之时，先以火药喷射火焰以杀伤敌人，之后再用枪（长矛）与敌格斗。此“砒礵”可能是硝石之误。

（三）烟枪。这是喷施烟幕，熏灼敌人的初级管形火器，其形制当与“长竹竿火枪”、“飞火枪”相近。

南宋周密《武林旧事》卷二“御教”条载：“寿皇（孝宗）留意武事，在位凡五大阅：乾道二年、四年、六年、淳熙四年、十年。”教阅的一个内容是“诸军呈大刀、车砲、烟枪、诸色武艺”[24]。《宋史·礼志·军礼·阅武》载：乾道四年秋，孝宗于临安城外茅滩阅军，“步人分东西引拽，马军交头于御台下，随队呈试骁锐大刀试艺，继而进呈车砲、火砲、烟枪，及赭山打围射生”。这两条文献都提到了烟枪，但其具体形态皆未说明。

（四）子窠突火枪。这是一种能发射“子弹”的早期管形火器，此前的管形火



器只能喷火和喷烟。

《宋史·兵制·器甲之制》载:"开庆元年（1259年）寿春府（今安徽寿县）造䮧筒木弩……又造突火枪，以钜竹为筒，内安子窠，如烧放，焰绝然后子窠发出，如砲声，远闻百五十余步。"可见此"突火枪"以巨竹为筒。此"子窠"当即子弹；窠，通"棵"，植物一株谓之"一窠"。在明代中期之前，我国古代管形火器喷射的子弹主要有两种类型：（1）颗状散弹；（2）独枚大圆弹。后者约出现于明代中后期。此"子窠"形态不明，或为一种散弹，即铁砂、碎石、碎瓷之类。后世的各种金属管形火器当由突火枪演变而来，突火枪也是世界枪炮的鼻祖，也是宋代管形火器的最高成就。

以上是宋代管形火器的四种主要类型。

此外，还有两事值得讨论一下：

其一，关于降魔变绢画中的筒状喷火器。敦煌莫高窟藏经洞中有1件佛教绢本彩绘画，画高145厘米、宽114厘米，绘有释迦牟尼得道前夕的降魔故事，原画已于20世纪初被劫往法国，郑振铎编《域外所藏中国古画集》曾经收录[25]。画面右侧上方所绘攻击释迦牟尼的众魔中，有一个头上伸出三条毒蛇之头的恶魔，恶魔双手持一形态奇特的筒状喷火器，口上喷出熊熊烈焰。从绘画风格看，其年代约为950年左右。1979年，李约瑟博士引用了这一资料，并认为它是一种较早的火枪，说"火枪肯定在950年就存在"[26]。后来，国外学者不少人都曾引用过这一观点，但国内学者多持慎重态度，因其属于孤证，在同一时代或稍后一个时期，目前尚未看到类似的资料。不过它依然为我们探索管形火器的发明期提供了一条新的线索[27][28]。

其二，关于李全"梨花枪"。李全，宋潍州北海（今山东潍坊）人。金末起兵山东，长于骑射和玩弄铁枪（长矛）。蒙古兵围青州，兵败而降。绍定三年（1230年）围攻扬州，兵败后被杀。他死后，其妻杨妙真夸其为"二十年梨花枪，天下无敌手"[29]。关于李全梨花枪的具体形态，《宋史》未曾说明，后人便产生了不同说法。

宋末周密（1232～1298年）认为它是长铁枪，其《齐东野语》卷九云:"李全，淄州人，第三，以贩牛马来青州……后复还淄，业屠，常就河洗刷牛马，于游土中蹴得铁枪杆，长七八尺，于是就上打成枪头，重可四十五斤，日习击刺，技日以精，为众推服，因呼为'李铁枪'"[30]。依其所云，李全"梨花枪"，原是在河中蹴得的一根铁杆，就上打出枪头后便成了枪，其实是一条全铁长矛，与火器无缘。我们亦支持这一说法。

但明代也有人认为它是一种管形火器，后世亦有附和此说者。明《筹海图编》卷一三载:"梨花枪者，用梨花一筒，系于长枪之首，临敌时用之，一发可远去数丈，人着药即死，火尽枪仍可以刺贼，乃军前第一火具也。宋李全昔用之以雄山东，所谓'二十年梨花枪，天下无敌手'是也。此法不传久矣。"（图6－8－2）[31]可见，此书把李全"梨花枪"与"飞火枪"等同起来了，其实这是一种误会。后面我们将要谈到，明代是把飞火枪称为梨花枪的，但宋代未必如此。关于《筹海图编》的作者，"四库提要"题为明胡宗宪辑，但从现有研究情况看，实际上是明

郑若曾编撰的，胡宗宪仅修改、审定而已①。

五、初级喷气式推进器

在燃烧型、爆炸型、管形火器使用的同时，宋代也有了喷气式推进器的雏形，其具体形态约主要是烟火，它是游艺性物品，是否有了喷气推进的火箭，尚待进一步研究。

（一）烟火

关于烟火的发明年代，学术界目前主要有北宋说和南宋说两种意见。

北宋说的主要依据是北宋孟元老《东京梦华录》（1147 年成书）卷七“驾登宝津楼诸军呈百戏”条所载，说东京军士御前表演百戏时，中有烟火一项，“忽作一声如霹雳，谓之爆仗，则蛮牌者引退，烟火大起，有假面披发口吐狼牙烟火，如鬼神状者上场……或就地放烟火之类。又一声爆仗，乐部动拜新月慢曲，有面涂青绿戴面具金睛……又爆仗一声，有假面长髯……”[32]同书还谈到了北宋汴梁的著名伎艺人，如李外宁、张臻妙、温奴哥等烟火设计、表演名师。有学者认为此“爆仗”、“烟火”就是火药杂戏，并认为北宋晚期已有烟火无疑[33][34]。

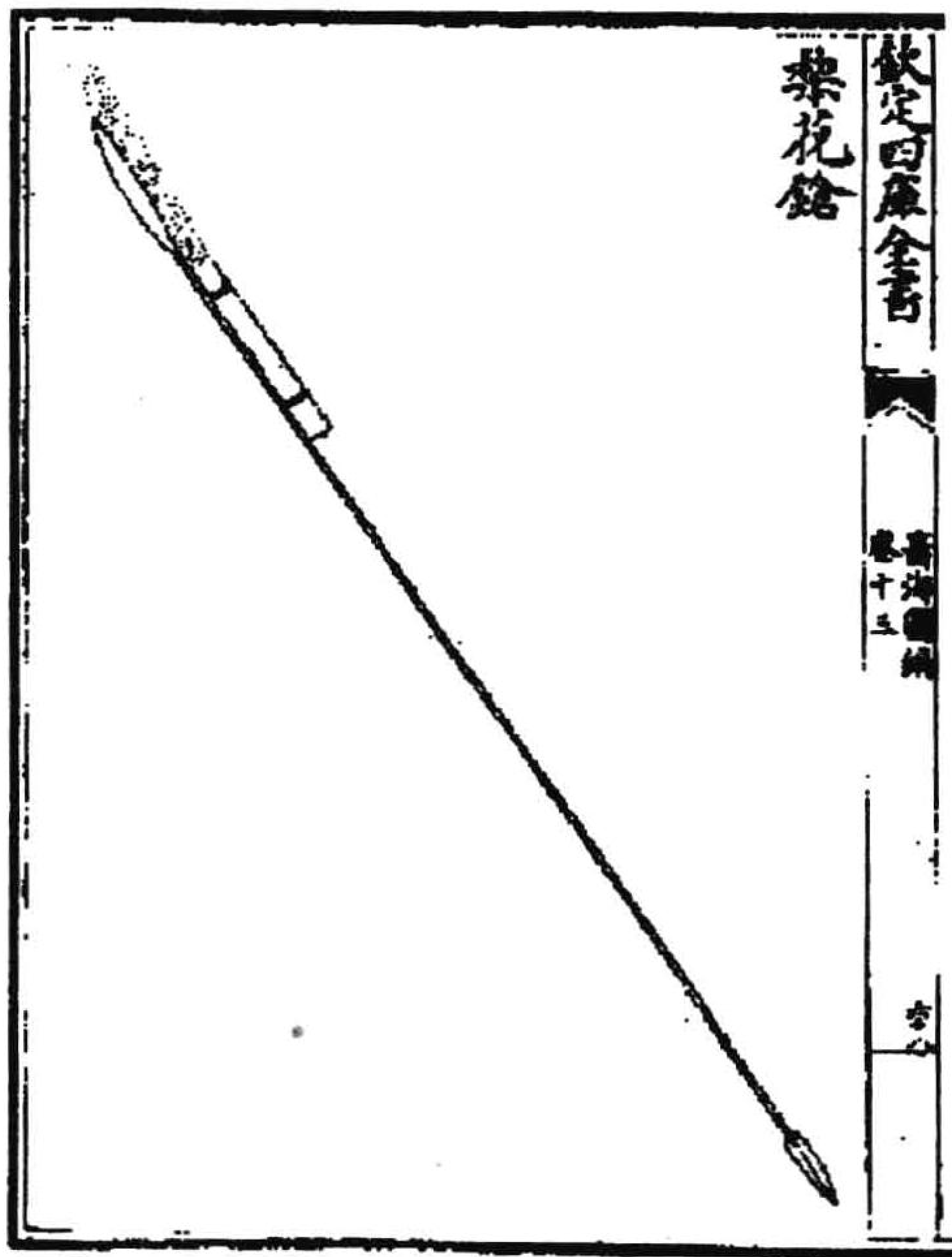


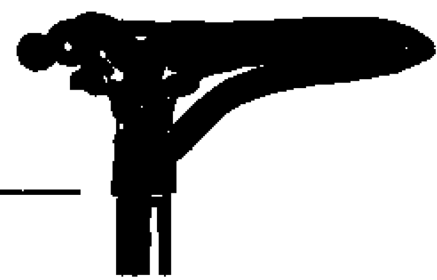

图 6-8-2 《筹海图编》卷一三所载“梨花枪”

但也有学者认为，此所述“烟火”原是“旧戏中演火烧场面或鬼神出场时放烟火的情况”，其“烟”、其“火”，都是纸和松香等物在燃烧时形成的，与火药并无关系；文中“烟火大起，有假面披发”、“烟火中有七八人皆披发文身”等语更说明了这一点。为此，这些学者认为真正的烟火应是南宋孝宗时代才出现的[17][35]。

我们比较倾向于前一观点，即北宋已出现烟火，南宋时期，烟火技术有了较大发展，有关记载明显增加，而且出现了一些著名的工艺和产品。

周密《武林旧事》（1270 年成书）一书多次提到南宋的烟火和爆竹，其卷二“元夕”条云：正月初一日，“宫漏既深，始宣放烟火百余架。于是乐音四起，烛影纵横，而驾始还矣，大率效宣和盛际，愈加精妙”[24]。这段文献十分重要，它先后说到了两层意思：（1）南宋时期，宫中于元旦之夜宣放烟火百余架，规模甚大，

① 清代以来的众多书目皆云《筹海图编》为明胡宗宪辑，《辞海》、《辞源》亦沿用此说。20 世纪 80 年代前后，有关学者对所发现的明嘉靖四十一年（1562 年）初刻本和隆庆六年（1572 年）重刻本作了新的考订，认为其实际作者系胡宗宪幕僚郑若曾，唯经胡宗宪修改，康熙三十二年（1693 年）刊本亦署为郑若曾辑。今《中国兵书集成》（十六）收有《筹海图编》，其题为：“崑山郑若曾辑”，据嘉靖四十一年胡宗宪刻本影印（解放军出版社、辽沈书社，1990 年）。



且较北宋晚期宣和间更加精妙。（2）北宋宣和（1119～1125年）年间便有了烟火。这便支持了我们前述的观点。而且，孟元老《东京梦华录》与周密《武林旧事》，两书的记载基本吻合。

《武林旧事》卷三“西湖游幸”云，孝宗于淳熙间（1174～1189年）游杭州西湖时，看到了许多新奇的烟火品种。“淳熙间，寿皇以天下养，每奉德寿三殿，游幸湖山，御大龙舟……时承平日久，乐与民同。凡游观买卖，皆无所禁……烟火：起轮、走线、流星、水瀑、风筝，不可胜数，总谓之赶趁人，盖耳目不暇给焉。”此“起轮”、“走线”等，看来都是当时著名的烟火品种。

周密《齐东野语》（1290年成书）卷一一“御宴烟火”条还谈到了在我国一直流传至今，名为“地老鼠”的烟火。其云：南宋理宗赵昀即位（1225年）之初，曾于上元日在宫内清燕殿点放名为“地老鼠”的烟火，“清燕殿排当，恭请恭圣太后。既而烧烟火于庭。有所谓地老鼠者，径至大母圣座下，大母为之惊惶，拂衣径起，意颇疑怒，为之罢晏”[36]。此“地老鼠”实属旋转型烟火，其机理是利用火药燃烧产物外喷而形成的反推动力，使之围绕一个轴心旋转。明代沈榜《宛署杂记》（1593年）、清代赵学敏《火戏略》（1780年）等都曾描述过地老鼠的形态。《宛署杂记》卷十七云：“起火中带炮连声者曰三级浪，不响不起、旋绕地上者曰地老鼠。”

南宋时期不但宫中，而且地方上也有了烟火。朱熹《朱文公集》一八“按唐仲友三状”：“仲友有婺州邻近人周四会放烟火，其妻会下碁。”

（二）关于喷气推进火箭

我国古代喷气推进火箭发明于何时，目前学术界主要有两种不同看法：一是宋金说（或说南宋晚期说）；二是明代说。

“宋金说”的主要依据是部分国内和蒙古人西征的战例。国内战例主要是绍兴辛巳（1161年）虞文在采石矶大破金兵之战，其霹雳炮“自空而下，落水中”，之后又“自水跳出，其声如雷”。显然只有“二踢脚”一类火箭才具有这种功能。蒙古贵族西征战例中，最值得注意的是1235～1244年蒙古军发动第二次西征时使用的“中国龙喷火筒”。17世纪时，一位波兰军事建筑师依据有关史料和古战场附近的壁画，对蒙古军在1241年向波兰骑士使用火龙的情景作了描述：火龙有龙头，在龙头的发射器内排立着火箭束。国内外都有人认为那就是集束式火箭[37]。“明代说”认为宋代的烟火应属火箭的前身，真正的火箭则应始创于明[34]。两种观点皆可进一步研究。如若波兰军事建筑师所绘图像自然是属于“集束式火箭”，但那是17世纪之作，并非13世纪的原始资料，而且宋、元文献中尚未看到类似的记载。

宋代火器主要有如上四种，即燃烧型、爆炸型、管形、喷气式。但在早期火器中，有的一物却兼具了多种火器的特征，如霹雳炮等，总体上属燃烧型，但具有轻微的爆炸力，也具有一些早期喷气式火箭的特征。两宋时期，火器已成了军队的重要装备，不但品种较多，而且使用量较大。南宋周应合《景定建康志》卷三九“武卫志二・军器”载：“开庆元年（1259年）四月十三日至景定二年（1261年）七月，大使马光祖任内……又刱(创)造、添修火攻器具共六万三千七百五十四件，内刱造三万八千三百五十九件；铁砲壳，十斤重四只，七斤重八只，六斤

重一百只，五斤重一万三千一百四只，三斤重二万二千四十四只，火弓箭一千只，火弩箭一千只，突火筒三百三十三个，火蒺藜三百三十三个，火药弃袴枪头三百三十三个，霹雳火砲壳一百只；内添修二万五千三百九十五件，火弓箭九千八百只，火弩箭一万二千九百八十只，突筒五百二个，火药弃袴枪头一千三百九十六个，火药蒺藜四百四个，小铁砲二百八只，铁火桶七十四只，铁火锥六十三条。"[38]其中提到了铁砲壳、弓火药箭、弩火药箭、霹雳砲、火蒺藜、铁火桶等，其铁砲壳又包括大小多种类型，这都说明了宋代火器大量使用的情况。

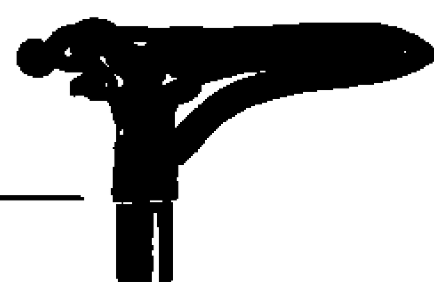
**六、宋代的火药配方**

由前可知，两宋时期已有了燃烧型、爆炸型和发射型火药，这是人类社会获得的一项重大技术成果。今见于记载的宋代火药配方一共三个，皆属北宋早期，大体上皆属于燃烧型，唯霹雳球火药稍具爆炸性；北宋中期和南宋之后的火药配方当更为进步，只可惜不曾留下具体记载。

《武经总要》"前集"卷一一载:"毒药烟毬。毬重五斤，用硫黄一十五两、草乌头五两、焰硝一斤十四两、芭(巴)豆五两、狼毒五两、桐油二两半、小油二两半、木炭末五两、沥青二两半、砒霜二两、黄蜡一两、竹茹一两一分、麻茹一两一分，捣合为毬。贯之以麻绳一条，长一丈二尺、重半斤为弦子；更以故纸一十二两半、麻皮十两、沥青二两半、黄蜡二两半、黄丹一两一分、炭末半斤，捣合涂傅外。若其气薰人，则口鼻血出。"此方计10余种药，狼毒、巴豆皆有毒之物，草乌头为大毒，砒霜剧毒。"沥青"指松香。可见此配方的主要成分为：硝38.5%、硫19.2%、炭6.0%、其他有机物21.8%、毒药及无机物14.1%[39]。这是个燃烧兼施毒的火药配方。模拟试验表明，此配方的燃烧速度为0.17克/秒，发火点为473℃，气体产物比容为152升/千克，燃烧热为940.02焦耳/克。此燃烧热甚低，这是施毒效果最佳的发热量[40]。

同书卷一二载：蒺藜火球，"火药法：用硫黄一斤四两、焰硝二斤半、粗炭末五两、沥青二两半、干漆二两半，捣为末；竹茹一两一分、麻茹一两一分，剪碎；用桐油、小油各二两半，蜡二两半熔汁和之。外傅用纸十二两半、黄麻一十两、黄丹一两一分、炭末半斤，以沥青二两半、黄蜡二两半熔汁和合，周涂之"。经计算，其组成为：硝石50.0%、硫黄25.0%、木炭6.2%、其他有机物18.8%[39]。从模拟试验看，此配方的发火点为428℃，燃烧产物的比容192升/千克，燃烧热为2134.4焦耳/克[40]。

同书卷一二又载：火炮，"火药法：晋州硫黄十四两、窩黄七两、焰硝二斤半、麻药一两、干漆一两、砒黄一两、定粉一两、竹如一两、黄丹一两、黄蜡半两、清油一分、桐油半两、松脂一十四两，浓油一分。右以晋州硫黄、窩黄、焰硝同捣、罗，砒黄、定粉、黄丹同研，干漆捣为末，竹茹、麻茹即微炒为碎末，黄蜡、松脂、清油、桐油、浓油同熬成膏状，入前药末，旋旋和匀。以纸伍重裹衣，以麻缚定，更别熔松脂傅之，以砲放"。经计算，此火炮组分为：硝石48.5%、硫黄25.5%、松剂17.0%、其他有机物5.41%、毒物及无机物3.6%[39]。从模拟试验看，此配方的燃烧速度为0.07克/秒，发火点为451℃，燃烧产物的比容为160升/千克，燃烧热为2143.6焦耳/克。其燃烧速度较慢，可能与所含松脂



较多有关[40]。

此三个火药配方中，毒药烟球的燃烧速度是最慢的，燃烧热也最低，有利于毒药缓慢挥发；火炮火药发热值较高，有利于燃烧；蒺藜火球的火药燃烧速度最快，发热值也较大，气态产物比容最大；可见这些火药配方基本上满足了不同的性能要求。说明早在北宋早期，人们对火药配方与其性能的关系，尤其是对硝石的作用，已有了一定的认识[40]。此三个配方中，性能最佳者当属蒺藜火球[41]，据推算，其低熔点可燃物(包括硫)含量为38.9%，较火炮火药(45%)稍低。近代军用黑火药（硝:硫:炭比为75:10:15）的低熔点可燃物含量为10%，燃烧速度为0.8克/秒，燃烧产物的比容为210升/千克，燃烧热为2682.4焦耳/克[40]。

但总体上看，宋代火药还是较为原始的，主要表现是：（1）无效或效率不高的组分较多，便在较大程度上削弱了有效组分的作用。（2）有效组分的比例与近代军用黑火药还有较大距离。

## 第九节　指南针技术的发展

我国古代指南针技术约发明于唐代中期，但当时仍停留在方家术士手中，有关记载也较少；北宋之后便迅速推广开来，不但记载较多，且较明确。宋代磁针主要有旱针和水针两种，它们都有多种不同类型；至迟南宋，便发明了枢轴式旱罗针，即木刻龟子和罗盘。水针和罗盘，便先后在北宋和南宋时期用到了航海事业中。

### 一、宋代指南针的几种装置

在宋代文献中，年代较早且更为明确地说到指南针的文献，要算北宋堪舆著作《茔原总录》，其卷一云："客主的取，宜匡四正以无差。当取丙午针，于其正处，中而格之，取方直之正也。"即是说，欲定四正方向，须先取丙午针（即正南偏东7.5度），待停止摆动后，中而格之，方可得到正确方向。此既明确地谈到了指南针，还明确地谈到了磁偏角①，是世界上关于磁偏角的最早记载。此书是仁宗庆历元年（1041年），由天监杨维德撰写的②，但所述依然较简。稍后，《武经总要》"前集"卷一五、《梦溪笔谈》卷二四等，都分别谈到了磁针的结构、制作、使用方法等。

#### （一）宋代磁针的几种不同装置

从承载方式看，我国古代指南针大体可区分为水针和旱针两种，前者是依靠水的浮力来维系磁针的，后者则是依靠丝缕的提系，或者将磁针放在盌唇、指甲或尖细的立轴上；水针和旱针，宋代都已使用，但使用较多的是水针，成就最高

---

① 地球绕着假想的地轴永无休止地转动，地轴南北两端与地表接触的地方便叫南北两极，连接两极的子午线叫地理子午线；地球是一个巨大的磁体，具有南北两个明显的磁极，连接地球两个磁极的子午线叫地磁子午线；因地球两极与地磁两极的位置并不一致，于是，地理子午线与地磁子午线间就产生了一个夹角，这便是磁偏角。

② 《茔原总录》，藏国家图书馆，善本，残存元刻本一册五卷。在现代研究者中，《茔原总录》关于磁偏角的这段资料最早由严敦杰发现，后为各家引用。

的应是旱罗盘。

在宋代文献中，较早对指南针进行概括性分类的是沈括（1031～1095年）《梦溪笔谈》二四“杂志一”，其云:“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。水浮多荡摇；指爪及盌唇上皆可为之，运转尤速，但坚滑易坠；不若缕悬为最善，其法取新纩中独茧缕，以芥子许蜡缀于针腰，无风处悬之，则针常指南。其中有磨而指北者。予家指南北者皆有之。磁石之指南，犹柏之指西，莫可原其理”。沈括在此谈到了5个问题：（1）磁化方式，即用“磁石磨针锋”方式作人工磁化。下面还要谈到，宋代还采用过其他磁化法。（2）磁偏角。说指南针并非不偏不离地指着正南，而是稍稍偏东。地磁偏角的发现，是我国古代科学的一项重大成就。（3）磁针有三种装置法，即漂浮法、支承法和缕悬法。漂浮法即所谓的水针，支承法和缕悬法皆属旱针。指甲旋法和盌唇旋法皆属支承法。（4）指南针是由方家制造的。前章谈到，指南针应是唐代晚期时，由方家发明出来的。（5）磁针指南是一种自然现象，其原理尚不明了[1]。由沈括的这些记述来看，在宋代，方术家辨别方向依然是指南针的一个重要用途。1949年，王振铎还对沈括所云三类四种指南针进行过复原试验[2]。

稍后，北宋政和年间（1111～1118年）的寇宗奭《本草衍义》卷五“磁石”条也有类似的记载:“磨针锋，则能指南；然常偏东，不全南也。其法取新纩中独缕，以半芥子许蜡，缀于针腰，无风处垂之，则针常指南；以针横贯灯心，浮水上，亦指南；然常偏丙位。”[3]此也谈到了人工磁化的方法和磁偏角，“丙位”即正南偏东15度，适与微偏东之说相符。与沈括所说不同处是：（1）此只谈到了两种针法，即漂浮法和缕悬法，可能是此二法使用较多之故；（2）谈到了漂浮法的具体装置，是以针横贯灯心草，浮于水上。

宋末元初，程棨《三柳轩杂识·指南鍼》也谈到了指南针的结构和基本类型，与《本草衍义》所云基本一致，有关情况下章还要提到。

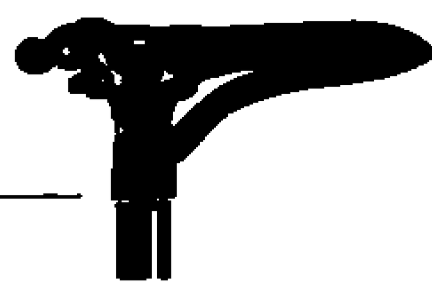
（二）几种不同形式的水针

宋代使用较多的是水针，由现有资料看，其至少有四种不同的装置：

磁针穿贯灯心草式。如前引《本草衍义》所云，即以针横贯灯心草上，浮于水面。与此相关的图绘“王”字形水针碗在元磁州窑上多有发现，下章再作介绍。

铁片指南鱼。《武经总要》“前集”卷一五在谈到行军辨向时说:“若遇天景曀雨狸，夜色暝黑，又不能辨方向，则当纵老马前行，令识道路，或出指南车及指南鱼，以辨所向。指南车世法不传，鱼法以薄铁叶剪裁，长二寸，阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，候通赤，以铁钤钤鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没水数分则止，以密器收之。用时置水碗于无风处，平放鱼在水面令浮，其首常南向午也。”这里谈到了指南鱼的外形、淬火和磁化方法、使用时的放置方法等。经王振铎复原，此指南鱼的腹部应当稍稍下凹，宛如一方浅舟方可[1]；若为一块平平的薄铁片，那是很难漂浮的。

木刻指南鱼。据南宋晚期陈元靓《事林广记》卷一〇“神仙幻术”载：指南鱼作法是:“以木刻鱼子，如母指大，开腹一窍，陷好磁石一块子，却以臈填满，用针一半金从鱼子口中钩入，令没放水中，自然指南，以手拨转，又复如出。”[4]



可见，此指南鱼以木刻成，如拇指大小，置水中。钢针从鱼的口部插入。它是用天然磁石对钢针磁化的，并使之长久接触，以保持此种不间断的磁化过程。《事林广记》系一种日用百科全书型的民间类书。陈元靓系福建崇安人，约生活于南宋宁宗（1195～1224年）、理宗（1225～1264年）时。

以上是见于文献记载的宋代水针装置法。使用较多的当是灯心草式。《武经总要》所云铁片式指南鱼虽然无针，但其理相同，故置一处讨论。当然，水针决不止以上几种，明代方以智《物理小识·神鬼方术类》谈到一种针头涂油涂垢，利用水的表面张力来制作浮针之法，大体亦可归入此类；其云:"取头中垢，以涂塞其孔，置水即浮，中通曰：人垢人汗人油涂针上，不须塞孔，针皆能浮"。

在此还值得一提的是，有学者认为"指南鱼"并非出现于宋，而是晋代便已发明，并认为晋代还发明了"指南舟"，这都是古人对磁针指极性能的一种应用[5]。主要依据有二：（1）唐代徐坚《初学记》卷二五"舟部"引晋《宫阁记》谈到过一种"指南舟"；（2）据说某些版本的晋代崔豹《古今注》曾提到过"指南鱼"。有学者认为，此指南舟、指南鱼是用"薄钢皮剪成，长约数寸而中部微凹，一端成为尖端，状如小鱼或玩具小船的东西，它磁化后能浮于水面而尖端指南"。但我们认为这些文献未必靠得住。经查，《初学记》的记载是这样的:"晋《宫阁记》曰：天泉池有紫宫舟、升进舟、曜阳舟、飞龙舟、射猎舟；灵芝池有鸣鹤舟、指南舟；舍利池有云母舟、无极舟；都亭池有华泉舟、常安舟"。由这段引文看，"指南舟"指南是肯定了的，但它是否可以浮起，是磁石还是磁针，则难以肯定。因为引文中还说到有"云母舟"，此云母舟是否能够浮起，同样难以肯定。至于崔豹《古今注》有的版本谈到了"指南鱼"的问题，则有待进一步查实。今俗所见《古今注》谈到过"玄针"、"玄鱼"，但那是指蝌蚪说的，与指南针无涉。总之，我们以为《初学记》和《古今注》这两条资料目前仍只能作为探讨我国指南针发明年代的线索，而不宜作为晋代已有指南鱼和指南舟的凭证。

欧洲早期水针的装置与宋代基本一致。1195年英国亚力山大·内卡姆（Alexande Neckam）在《论物质的本性》（《De Naturis Rerum》）一书中说:"在阴沉的日子或阴暗的夜晚，当瞧不见天上的星星时，航海者就使铁针或钢针磁化，再把它穿在麦管上，浮在水面，我们用这个方法就可以知道哪边是北方。"[6]这也从一个侧面反映了欧洲水针与中国水针的技术关系。

（三）关于指极磁铁的制作方法

在此最为关键的问题是如何获得并保持磁性，从文献记载来看，宋人主要采取了三项技术措施：

1. 钢针淬火。这在前引《武经总要》"前集"卷一五已有详细说明，制作指南鱼时，将鱼形铁片"置炭火中烧之，候通赤，以铁钤钤鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没水数分则止"。明代方以智《物理小识》卷一"气节异"说"针淬而指南"，即是说，磁针淬火后便指南了。这是否依靠地磁来磁化，说得不太明白；地磁磁化的真实效果如何，亦有待试验。若使用强磁体来磁化，效果会更好一些的。但可肯定的是：淬火对钢针磁化是有重要影响的。从现代技术观点看，作为永久磁铁的钢，均须具有较高的矫顽力和剩余磁感，而且均须不因时间

的推移而发生变化。一般而言，凡晶格处于应力状态，如冷加工硬化、时效硬化、相的分散分布、细晶粒度等，都有增大矫顽力的作用；淬火可使矫顽力急速上升，这主要是淬火组织内存有较多的残余奥氏体和非磁性夹杂之故。若钢针未经淬火，其磁性将很快地消失。

2. 采用多种方法磁化。如前引《梦溪笔谈》、《本草衍义》等说到的磁石磨针锋等。

3. 注意养针，以免失去了磁性。《武经总要》“前集”所云指南铁鱼平时系“以密器收之”，此“密器”当即是藏有天然磁石的养针器。《事林广记》所云木刻指南鱼、指南龟，皆内藏磁石，在使用过程中同时进行着“保养”。据有关学者调查，1937 年时，苏州和安徽休宁罗盘作坊的养针法是：平时将磁针散布于天然磁石上受磁，磁石置于铜质或木质的有盖盒内，使用时启盖取针[2]。

## 二、枢轴式旱针的发明和十六分度法

枢轴式旱针始见于南宋时期，它亦属支承法，其主要有两种类型，一是木刻指南龟，二是罗盘。

### （一）木刻指南龟

《事林广记》卷一〇“神仙幻术”在谈到了指南鱼做法后接着说，指南龟做法是:“以木刻龟子一个，一如前法制造，但于尾边敲针入去，用小板子上安以竹钉子，如箸尾大。龟腹下微陷一穴，安钉子上拨转常指北，须是钉尾后”[4]。可见，此指南龟亦以木刻成，如拇指大小，用天然磁石使钢针磁化，亦使之长久接触。钢针则是从尾部插入。这是关于枢轴式旱针的最早记载。1949 年，王振铎曾复原过指南鱼、指南龟；指南鱼中空，作漂浮状；指南龟亦中空，下用一竹钉支承；制作指南龟的一个重要技术问题是选择好重心，使之既保持平衡，又能旋转自如[2]。图 6－9－1 所示为王振铎复原的《事林广记》指南龟。

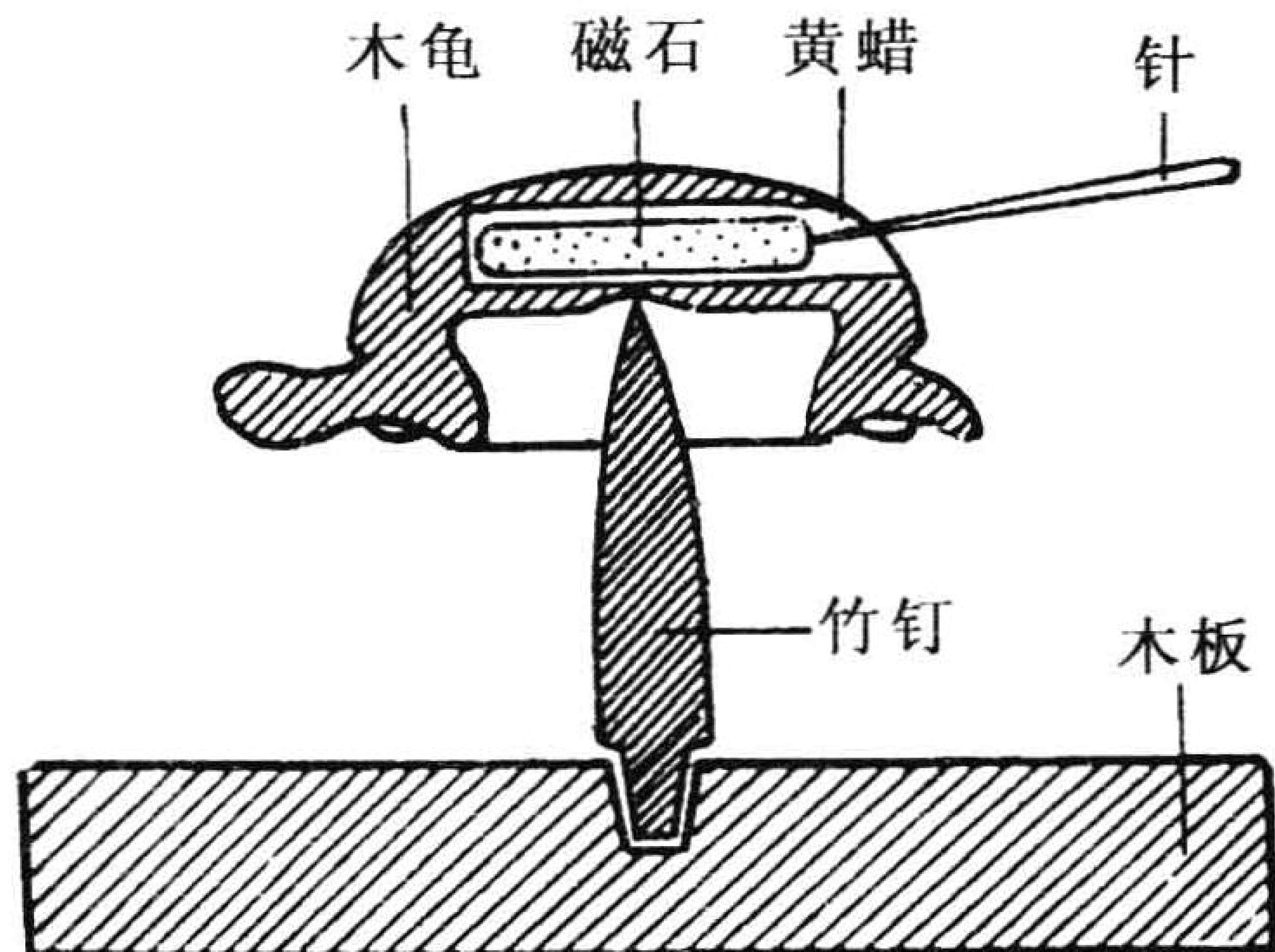



**图 6－9－1　《事林广记》指南龟复原图**
采自文献[2]

### （二）罗盘

这是一种具有辨正细微方位的磁针指极仪器，用带有方位刻度的圆形承受器装置而成。罗盘又叫罗经、罗经盘；罗者，广布也，遍布也。《史记 · 五帝本纪》“旁罗日月星辰”，“索隐”云:“旁非一方；罗，广布也。”经者，度也。《考工记 · 匠人》“经涂九轨”疏:“南北之道为经，东西之道为纬。”盘，当与地盘有关。罗盘分度列向，以正南北，故谓之为经、经盘、罗经盘也[7]。

关于罗盘的发明年代，迄今尚无确凿证据，昔曾有学者依墓志铭、买地券，以及堪舆著作中关于墓向选择中出现了 24 向（或 48 向），便将之推到了唐代中期[5]，其实这是靠不住的，因 24 分向法早在汉代便已形成，况且，有的所谓唐代堪舆著作并不能排除了后人增删伪撰的可能性。唐代虽有了指南水针，但它与罗





盘仍有一定区别。目前关于罗盘比较确凿的记载当属12～13世纪，南宋曾三异《因话录》“子午针”条说:“地螺或有子午正针，或用子午、丙壬间缝针，天地南北之正，当用子午。或今谓江南地偏，难用子午之正，故以丙壬参之。古者测日景于洛阳，以其天地之中正也，然又于其外县阳城之地，地少偏，则难正用，亦自有理”[8]。此“螺”同罗，这是我国古代较早提到罗盘的地方。值得注意的是，这里也谈到了磁偏角。曾三异，为三聘之弟，南宋新淦人，淳熙（1174～1189年）乡贡，端平（1234～1236年）授承事郎，成书年代不详。自然，罗盘的发明年代应在其著书之前；因罗盘亦有水、旱两种[9]，一般而言，水罗盘应早于旱罗盘，而今在考古发掘中所见旱罗盘的最早形象属于12世纪末期，故水罗盘至少是可上推至12世纪中期、早期的。

1985年，江西临川县窑背山南宋邵武知军朱济南（1140～1197年）墓（1198年入葬）出土70件瓷俑，俑均为单体侍立状圆雕，由模印、贴塑而成，多中空，胎质细匀，素烧，江西烧造。其中有张仙人俑一式二件，此俑高22.2厘米，炯炯有神，束发绾髻，身穿右衽长衫，右手抱一罗盘，置于右胸前，右手紧执左袖口，俨然是一位堪舆大师，座底墨书“张仙人”三字（彩版捌，2），当系《永乐大典》卷八一九九“大汉原陵秘葬经”所云阴阳家张景文一类人物[10]。其装置法与水针不同，此针的中部作菱形，中心有一圆孔，显然是一种支承式旱罗盘[11]。这是我国早在12世纪，即南宋时期便已发明了旱罗盘的明证。其形态与前云宋代各种水针、元代图绘“王”字形水针，以及传世品中所见明代水经罗，都有明显区别。

相当长一个时期内，学术界一般认为旱罗盘系西人创制的，明隆庆（1567～1572年）时经日本传入中国。最早提出这一观点的人是明隆庆时李豫亨，其《推篷寤语》卷七云:“近年吴越闽广遭倭变，倭船尾率用旱针盘以辨海道，获之仿其制，吴下人始多旱针盘。但其针用磁石煮制，气过则不灵，不若水针盘细密也”[12]。还有人考订说欧洲在明代已多用旱针。其实，这都是一面之辞，不管水针还是旱针，都是我国首创的。旱针为我国首创之事，清乾隆时堪舆家范宜宾在《罗经精一解·针说》中便有说明，其云:“指南旱针，造自圣王，今反弃古不用，转用后人伪造之水针，乖谬已极，失去根本矣……今余之经盘，遵用旱针，不用水针，亦去伪遵古之意也夫”。“缘此针创自江西，盛于前明，以此定南北之枢。”范宜宾认为旱针盛于明代，明代以前创自江西，与临川旱罗盘造像适是相符。但其认为水针为后人伪造，则未必妥当。

古代世界的罗经盘计有24向(含48向)和16向(含32向)两大体系。从文献记载和有关考古实物来看，自秦汉以来，24向定位法便在我国地理分向中形成[1]，并一直沿用了下来。相当长一个时期内，人们一直认为16向法是西洋人首创的，英国诗人乔叟（G. Chauer）早在1391年的《论星盘》中就说，当时的航海罗经使用的已是32向位[13]；有学者认为明嘉靖（1522～1566年）以来，欧洲海舶已多用此种罗经，并说这种16向罗经是先传至日本，之后再传入中国的[7]。有学者认为，其实并非如此，从考古资料和文献记载看，16向位法也是中国人发明[11]。

1997年8月，临川陶俑罗盘在中国历史博物馆举办的《中国古代科技文物展》

上展出，经观察，它应当有16条刻度线。今已看到14条，十分清楚，分布大体均匀；另有一条短线，与一条长线同一个起点，显然是划错了的。依照这14条刻度线的分布情况推测，在与指针相重处的上下两个方位，应当各有一条刻线；下面一条当是陶俑的手挡住了，上面一条则是制作指针时，为泥条遮掩了；今在罗盘的上缘部似乎还有一个小“缺口”，很可能它便是原刻线的尽头[11]。如若宋罗盘没有十六分度法，人们绝不会在“张仙人”的罗盘上随意刻出这种分格的。故这应是世界上最早的旱罗盘，也是最早的十六分度罗盘。

十六分度罗盘大约与后天八卦的使用存在一定关系，宋王赵卿《针法诗》云：“虚危之间针路明，南方张度上三乘。坎离正位人难识，差却毫厘断不灵”。此“虚危之间”即丙午偏角。前二句是以天星表示磁偏角的。“坎离正位”是后天八卦的北南正位，后天八卦以离为正南，坎为正北。这说明宋代堪舆家曾用后天八卦分度。八卦，八方，再加上缝针，便是16个方位。这是宋代采用了十六方位法的又一例证[11]。自然，这都远在欧洲之前。

**三、指南针和罗盘在航海技术上的应用**

人类早期航海活动主要是依靠星星和太阳来辨别方向的，指南针发明出来后，这种靠天辨向的情况便有了根本性变化。我国古代关于航海指南针的记载约始见于北宋晚期，之后便很快地推广开来。

北宋宣和元年（1119年）成书的朱彧《萍州可谈》卷二载：“舶深阔各数十丈……舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针，或以十丈绳钩海底泥嗅之，便知所至。”据《四库全书》“提要”载：朱彧系乌程人，其父朱服，“元丰（1078～1085年）中以直龙图阁，历知莱润诸州；绍圣（1094～1098年）中尝奉命使辽，后又为广州帅，故彧是书多述其父所见闻，而于广州蕃坊市舶言之犹详”。说明早在公元11世纪末、12世纪初，我国之南洋海船已有指南针装置，这是世界上关于航海指南针的最早记载，但针的具体装置则不得而知。

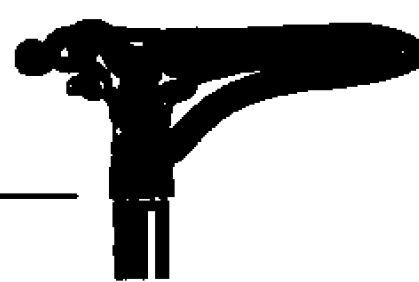
稍后，徐竞《宣和奉使高丽图经》卷三四也记有一种航海浮针，云：舟行过蓬莱山之后，浪势益大，“是夜洋中不可住，维视星斗前迈，若晦冥则用指南浮针，以揆南北”。

南宋时期，有关航海用指南针的记载便更多了。赵汝适《诸番志》（1225年）谈到福建市舶司的一些情况时说：“舟舶来往，唯以指南针为则，昼夜守视惟谨，毫厘之差，生死系矣。”

在航海业中，明确提到罗盘的始见于13世纪后期。南宋咸淳年间（1265～1274年）吴自牧《梦粱录》卷一二“江海船舰”载：“风雨冥晦，惟凭针盘而行，乃火长掌之，毫厘不敢差误，盖一舟人之命所系也。”[14]此明确提到了针盘，而且须专人守护。此针盘当系罗盘，看来，罗盘的使用方法已逐渐形成了一种制度。同卷接着又说：“海洋近出礁则水浅，撞礁必坏船，全凭南针，或有少差，即葬鱼腹。”元明时期，便形成了依“针路”航行的做法。

## 第十节 髹漆技术的发展

汉代之后，漆器使用量虽有减少，但因漆器本身固有的优点，实际用量还是



不少的，髹漆技术亦不断向前发展，并且每个时代都有自己的特点和值得人们关注的东西。若说唐代漆器的代表性成就是夹纻佛像、金银平脱和螺钿工艺的话，宋代漆器较值得注意的便是：多层卷木胎、金银胎漆器、银衬胎技术、戗金技术、素色漆技术、雕漆技术、犀皮工艺都有了发展，桐油兑漆技术始见于文献记载，很可能还发明了薄螺钿工艺。宋代的主要漆器产地依然在南方，尤其是浙江、江苏、湖北等地，其中较为著名的漆器产地有温州、杭州、苏州、襄州等。

**一、漆器出土的部分情况**

两宋时期，漆器出土量还是不少的，其中较值得注意的主要有下列几宗：

1. 常州市武进县村前乡南宋墓漆器。1976 年和 1978 年发掘，计出自 6 座南宋墓，漆器有奁、盒、镜箱、执镜盒、粉盒等，约 14 件，其中较值得注意的器物有：(1) 戗金细钩填漆斑纹地长方盒 1 件，木胎，通高 11 厘米、长 15.4 厘米、宽 8.3 厘米，盖内朱书“庚申（1260 年）温州丁字桥巷解七叔上牢”13 字款，断代 1260 年之后。(2) 戗金细钩花卉人物奁 1 件，通高 21.3 厘米、径 19.2 厘米。木胎，十二棱莲花瓣形，盖面戗金人物花卉，银钔镶口。盖内侧朱书“温州新河金念五郎上牢”10 字。(3) 戗金朱髹长方盒 1 件，通高 10.7 厘米、长 15.3 厘米、宽 8.1 厘米，盖内朱书“丁酉（1237 年）温州五马钟念二郎上牢”12 字。后两器断代 1237 年之后。(4) 镜箱 1 件，木胎，长方形，黄地。漆层已全部脱落，箱盖面有云钩纹图案的线条痕迹，发掘者认为它“有可能是剔犀工艺”。(5) 粉盒 6 件，大小略同，木胎，素面，圆筒形或扁圆形，有盖，子母口，有的盖口环以银包口。表里黑漆。(6) 唾盂 1 件，高 10.5 厘米、口径 20.5 厘米，口沿及腹部均用窄条薄木片圈叠成胎，表里黑漆。此外还有填漆斑纹长方盒 1 件、剔犀执镜盒 1 件等漆器。可见其装饰有素色漆、戗金（3 件）、填漆（1 件）、犀皮（2 件）等；在 3 件戗金漆器中，有 2 件是戗金朱髹的，盖面皆系人物画，工艺娴熟，刻画精美[1][2]。

字款中的“念”字，在宋镜铭文中也经常看到，当是“廿”之意，其中的“念二郎”即“二十二郎”，“念五郎”即“二十五郎”。湖州镜铭中最常见的是“念二叔”，实即二十二叔；湖州镜铭中曾有过“湖州石家三十郎家照子”，以及“湖州石四十六郎无比炼铜照子”等，都是这种解释的一个明证[3]。将“廿”音作“念”之事，约始于北宋时期。顾炎武《金石文字记》卷三“唐·开业寺碑”条载：“碑阴多宋人题名，有曰：‘济南李政至道王亢……过此同宿承天佛舍，元祐辛未（1091 年）阳月念五日题’。以‘廿’为念，始见于此。杨用修谓‘廿’字韵书皆音入，惟市井商贾音念，而学士大夫亦从其误也。”[4]

2. 常州北环新村北宋漆器。1982 年出土，其中值得注意的器物是：(1) 银衬漆罐 2 件。一件圆筒形，通高 6.3 厘米、口径 8 厘米。罐分两层，内层为银质平底筒形罐，壁厚 1.2 毫米，相当于器之内衬；外层为木胎漆罐，髹素色黑漆，退光。银筒罐口略高于漆罐外壁，形成子口。器盖内壁亦为银质。(2) 银衬扁圆漆盒 1 件，口径 10 厘米、通高 3 厘米。此器亦分两层，内层为银质平底盒，银层口伸出，形成子口；外层为木胎漆盒，髹素色黑漆，退光。盖内层为银质，外包漆盖。(3) 银包口朱漆托子 1 件，通高 6 厘米、托杯口径 8.7 厘米、托沿径 14.5 厘米。杯口、托沿和足沿周皆镶银包口，托底朱书“苏州真大黄二郎上辛卯”10 字款。

（4）扁圆形黑漆盒1件，用宽3.5厘米、厚0.15厘米的3层薄木片圈盘成胎，外面两层木片重叠圈盘，内层伸出呈子口[5]。显然，此盒为多层卷木胎制成。

3. 淮安北宋墓漆器。1959年，淮安5座北宋墓出土漆器72件，19件有铭文，较值得注意的是：

盘27件，其中有平底盘22件（大盘2件，中盘7件，小盘13件）、凹底盘2件、圜底盘3件。皆花瓣形，皆素色漆。凡内红外墨者为10瓣形，内外均红者为6瓣形。部分盘上有朱书字款。在1号墓出土的小漆盘中，有5件底外朱书“杭州胡”3字款；一件底外部朱书“已酉杭州吴口上牢”8字款。2号墓出土有2件圜底大漆盘，盘外分别朱书“丁卯温州开元寺东黄上牢”、“壬申杭州真大口口上牢”。3号墓出土有平底漆盘1件，底外朱书“杨中”二字款。4号墓出土4件平底小漆盘，外边和外底分别朱书：“江宁府烧朱任口上牢”、“江宁府烧朱口口上牢庚子口”、“杭州胡二”、“己丑温州口口上牢口”。

碗15件，皆六花瓣形。1号墓出土有4件，皆黑漆色，有2件的底外朱漆书“香”字，2件底外朱漆书“库”字。3号墓出土的1件圜底漆碗，通身髹黑漆，外底朱书“选行素漆丙子口张义目口口”。此“素漆”二字铭很值得注意，它说明宋人已把这种只髹一种或两种漆，而无文彩的髹漆工艺称之为“素漆”了。素者，无文也；素漆或素髹，即无文采之髹漆工艺；此名既简洁、雅致，又科学，故一直沿用至今。

盒9件，其中圆形的5件、长方形2件、腰形1件、菱花形1件。4号墓出土的1件花瓣式圜底漆圆盒，木胎夹纻，身髹酱红色，外底髹黑漆，外底朱书“戊申温州念三叔上牢”。

罐5件，其中2号墓出土有平底圆罐1件，木胎夹纻，通身髹黑漆，盖里朱书“壬申杭州北大吴口口”。

此外，不再一一引述。此5座墓中，2座为纪年墓，1号墓为嘉祐五年（1060年）、2号墓为绍圣元年（1094年）。这些器物多为木胎夹纻，亦有部分木胎；大部分髹黑漆，少部分髹酱红漆；也有一部分为内黑外红，或内红外黑的。凡底部或外部有字款处，皆为黑漆色，字款朱漆色[6]。

这些器物相当大一部分都有铭文，其中7件器物铭文中有“牢”字，当是坚牢意，下面再作讨论。1件碗上有朱书“素漆”二字款，说明该器为素色漆。许多铭文中的干支纪年，估计皆属南宋时期。

4. 杭州老和山宋墓漆器。1953年4座小型宋墓计出土10余件，包括碗3件、盘1件、漆棒1件、漆剑1把、盒2件、奁2件等，皆素色，除1件盒为厚木胎（0.3～0.4厘米）外，余皆薄木胎（0.1～0.2厘米）；基本上皆髹黑漆，仅在残存漆皮上见有彩绘痕迹；其中3件碗、1件盘的外口，皆朱书“壬午临安府符家真实上牢”11字，此二种器物皆为敞口[7]。

5. 汉阳十里铺北宋墓漆器。1965年出土，计19件，有碗、带托碗、盘、钵，全为素色漆，有的有铭文。较值得注意的有：（1）碗2式4件。Ⅰ式2件，碗敞口外侈，为六花瓣形，薄胎，内外皆髹黑红漆；Ⅱ式2件，平折宽唇，外髹黑红漆，内髹赭色漆，器底外壁皆朱书“丙戌邢家上牢”。（2）钵2件，六花瓣形，胎

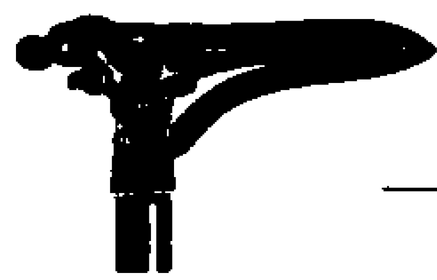


薄，内外皆髹黑红漆；两器壁外分别朱书:“己丑襄州邢家造真上牢” 10字、“戊子襄州骆马巷西谢家上牢口口” 14字。(3) 盒，分3式4件。其中I式1件，器全身为六花瓣形，木胎较薄，器内外髹黑红漆，器壁外朱书“丁亥邢家上牢” 6字。这些铭文中提到的漆器产地有“襄州”，即今襄阳；作坊主有“邢家”、“谢家”。襄阳是唐宋时期著名的漆器产地[8]。《新唐书》卷四〇“地理志”:“襄州襄阳郡望土贡纶巾漆器库露真二品。”《宋史》卷八五“地理志”:“襄阳府望襄阳郡……贡麝香白谷漆器。”

6. 辽宁法库叶茂台辽代漆器。1974年辽墓出土，计20余件，器形有钵、碗、奁、盘、勺等。多为旋木胎，或卷木夹苎胎。漆器颜色有黑、朱红、酱红三种，多数器物髹素色漆。其中较值得注意的是瓜楞式奁盒，卷木夹苎胎，外表黑光，内壁和凹窝处作朱色；盒内有一花式盘，盘胎甚薄，盘内朱漆，外髹黑漆。部分漆器底部有朱漆字款，如银钔钵计有4条款识:“庚午岁李上牢”（底款)、“旧（?）癸（?）亥追（?）家自造上牢”(底款)、“丁丑翟 杨家自造上牢”（底款)、“杨家自造上牢”（边款)。漆奁内花式盘底部铭文为“口口成上牢”。一件木胎小碗的圆足底内则有墨书“官”字款等[9]。皆不著产地。

7. 浙江瑞安慧光塔宋代漆器。1966～1967年在慧光塔内发现，计有北宋文物66件，皆属北宋庆历三年（1043年）以前。漆器至少2件:（1）庆历二年描金堆漆经函，檀木胎，盝盖。合外函和内函。外函长40厘米、宽18厘米、高16.5厘米，用漆堆塑像、神兽、飞鸟、花卉等，并嵌小珍珠；地纹为金绘飞天、花鸟，精巧之至。函底有金书一行，仍可见“大宋庆历二年”等字样。内函无堆漆，除函底外，都有工笔金描。(2) 庆历二年描金堆漆舍利函。函作方开，盝盖，底宽24.5厘米、高41.2厘米，金描堆漆菊花形纹，亦嵌小珍珠，四面中部工笔金绘人物画四幅。函底有金丝栏金书一行，具录施主名位，题记为“庆历二年”。杨伯达认为，此舍利函集沥粉、描金及堆起（隐起描金）三种工艺于一身，真乃漆器遗产的瑰宝[10][11]。

以上谈到了见于考古发掘的7宗宋辽漆器出土情况，此外还有不少，不再一一引述。由之可见:（1）此期漆器产地依然主要是南方，尤其浙江、江苏、湖北等地。从漆器铭文看，较为著名的产地有温州、苏州、杭州、江宁、襄州等；多为私营作坊制品，作坊名号，温州有解七叔、念五郎、念二郎、开元寺东黄、念三叔等；苏州有大黄二郎、杭州有胡二、临安府有符家、襄州有邢家与谢家等。辽代也有少数“官”字款。(2) 宋代素色漆器较多，主要是黑色，其次是朱色、紫色等。有的保存较好，漆层致密坚实，宝色内含，素洁高雅，主要是日用器。圆形的盘、碗类往往呈六出或八出等花瓣形，与唐宋铜镜、瓷器相似，体现了同一时代的风貌。(3) 多层圈叠的卷木胎工艺有了较大发展。上列漆器中，最为明显的例子是武进村前乡唾盂[1][2]、常州北环新村北宋扁圆形黑漆盒[5]，以及下面将要谈到的沙州宋墓雕漆碗等[12]。(4) 银衬木胎漆器工艺亦有一定发展，这类漆器大体属于工艺品范围。(5) 慧光塔舍利函等集三种技艺于一器，充分显示了髹饰技术的优越性。





## 二、卷木胎和银衬胎技术的发展及关于“牢”字的讨论

由上述漆器出土情况可知，此期制胎技术上的一个重要特点是多层卷木胎和银衬胎的发展。

（一）关于多层卷木胎

顾名思义，“多层卷木胎”是由两层以上的薄木片卷制而成的，多时还夹有纻布。此技术在湖北监利唐代漆器上已经看到，宋后有了较大发展。其常作素色漆。

对这种多层卷木胎的操作工艺，因受多种因素制约，目前了解得尚不是十分具体。有学者推测，其要点应是这样的：将木片裁成条，水浴加温，弯曲成圈，烘干定形；之后再一圈圈地累叠，胶结成型。再经打磨、上灰、髹漆。其各圈接口错开，从而降低了脱扣的可能性，故强度较高[13]。缺点是制作麻烦，故在唐、宋之前和之后都较少看到。

（二）关于金银胎

我国古代的金属胎漆器至迟始于战国时期，这在曾侯乙墓、包山楚墓等处都可看到；尔后，历代使用不多。前蜀时期的银衬铅胎碟大体可归为这一工艺范围。宋代的金银胎漆器目前仅见于文献记载，实物迄今未见。

明黄成《髹饰录》“雕镂”第一〇载:“金银胎剔红，宋内府中有金胎、银胎者，近日有鍮胎、锡胎者，即所假效也。”[14]即是说，宋内府有金胎、银胎者；明代有以鍮代金，以锡代银，以假效者。明曹昭《格古要论》卷下“剔红”条说得更为明白:“宋朝内府中物，多是金银作素者。”[15]此“金银作素”，即以金银为胎，髹素色漆。这类金银胎漆器，与前蜀银铅胎漆器，大体属于同一类型[16]。它们都是奢华之物，一种工艺品和观赏品。

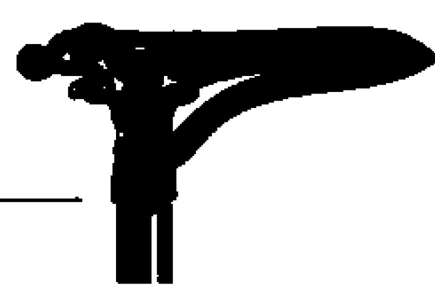
前面数列的几件宋代“银衬”漆器，如常州北环新村北宋银衬漆罐、银衬扁圆漆盒，以及下面将要谈到的沙洲银衬漆碗等，与金银胎是不同的。此银衬胎并不是真正的以黄金、白银为胎，并在器外髹漆，而仅仅是以贵金属为衬而已，器胎依然是木质。银片衬于木胎内，主要是为了装饰。

（三）关于字款“牢”的含义

“牢”字款在古代铭文中是经常看到的。汉乐浪郡漆器永平十二年神仙画像漆盘等上便见有“牢”等字样[17]；三国朱然墓又出土有“蜀郡作牢”铭；宋代漆器对此字亦使用较多，前述6宗宋辽漆器中，朱书了“牢”字款者至少24次，基本上都是以“上牢”形式置于款后的。

关于这“牢”字的具体含义，目前学术界存在两种不同说法：一认为是“牢固”、“吉祥”意，梅原末治在20世纪30年代便力主此说[17]，依此，“上牢”即是“上等牢固”、“最为牢固”之意[5]；二认为“牢”即圈、杯圈、圆形器物，“作牢”即是制作圆形器物[18]，“上牢”即是髹涂圆形器物。前说未曾列举过多理由，后说曾查找过一些文献，并认为凡题有“牢”字款的汉代漆器皆是杯等圆器[18]。我们倾向于前说，后说在部分汉代杯盘类漆器中尚可理解，但在宋代漆器上则是很难理解的。今补充几条考古资料，从这些资料看，具有“上牢”字款者未必都是圆器。如：

前云淮安5座北宋墓出土了72件漆器，有盘27件，皆为花瓣形，其中有7件



盘上都朱书“上牢”等字款[6]。前云汉阳十里铺北宋墓所出漆器中，2件钵和1件盒朱书了“上牢”等字款，3器皆为六花瓣形[8]。显然，这种花瓣形器与圆器是有差别的。此“牢”字与“圆形器物”的含义自然不太相符。

尤其值得注意的是前云常州武进出土的温州漆器，有3件朱书了“上牢”等字款，其中两件，即戗金细钩填漆斑纹地长方盒、戗金朱髹长方盒，都是长方形[1][2]。这便更难将“牢”字解释为圆器了。我想，古人决不会故意去做“名实不符”的事，将长方形器称之为圆器的。假若花瓣形器犹可勉强称之为圆器的话，这长方形器无论如何是与圆器无缘了的。

所以我们认为，宋代漆器中的“牢”字铭款，应是坚牢之意，它不过是一种宣传，一种希望，一种赞许。

说到这里，不禁想起了“牢盆”一语。《史记·平准书》载:“愿募民自给费，因官器作煮盐，官与牢盆。”对“牢”字的含义，多年来学术界也存在不同意见，今试作一些考察，对我们了解漆器“牢”字款含义或有一定帮助。

同书同卷“集解”引“如淳曰：‘牢，廪食也。古者名廪为牢也。盆者，煮盐盆。’”若依如淳意，“牢”便是廪食，便是官府提供粮食，那么，“牢盆”的本意便是官府提供的煮盐盆了。

同书同卷“索隐”载:“苏林云：‘牢，价直也。今代人言雇手牢盆。’晋灼云：‘苏说是。’乐产云：‘牢乃盘名，其说异。’”这里列出了两种不同的观点。依苏林说，“牢”便是“价值”，换句话说，便是牢固、坚牢之意。依乐彦之说，“牢”却是盆之名。

从上述观点来看，我们认为《史记·平准书》中的“牢”可能有两层意思，本意当为如淳云，“牢”即官府供给之物，“牢盆”即是官府提供的煮盐盆。这一名称从汉代一直沿用了下来，明宋应星《天工开物》卷五还提到过“牢盆”之名。但我们认为，汉代之后，有的牢盆可能依然是官方提供的，但有的则未必，所以汉后“牢盆”之名除保留原有含义外，也不能排除已发生转移、变化的可能性。故在汉代之后，苏林说也有一定道理。煮盐之盆最易受蚀，一般都做得较为坚厚，其有铁铸成者，亦有编竹而糊蜃灰等以成者，求其坚牢是自然的。于是，一个“牢”字，便一语双关了。故这宋代漆器“牢”字款，亦是求其坚牢意。

**三、关于兑漆、炼漆技术**

在此，宋代值得关注的事项有二：一是兑漆有了使用桐油的记载；二是有了炼制熟漆的记载。

我国古代桐油兑漆之事未知始于何时，但有关记载却是到了南宋才看到的。宋程大昌《演繁露续集》卷五“桐油”条载:“桐子之可为油者，一名荏油。予在浙东，漆工称当用荏油。予问荏油何种，工不能知。取油视之，乃桐油也。”[19]这是今见文献中，关于使用桐油兑漆的最早记载。同时我们也可看到，当时漆工对桐油的名字还是不太熟悉的，且误认为是荏油了。这至少说明在浙东地区，漆工使用荏油在前，桐油在后的，而且很可能当时使用桐油的时间不是太久。

漆分生漆和熟漆两种。未炼为生，既炼则熟。炼漆法主要是曝晒或煎煮，或者加入桐油及其他植物油。这种炼漆法应当发明较早，但有关记载却是到了宋代

才看到的。宋人较为关注的主要是退光漆，这是一种常用熟漆。

北宋成书的《琴苑要录·琴书》谈到过一种“黳光”法，并用“黳光”加生漆来配制“琴光漆”（琴的退光漆），其“煎黳光法”条载:“好生漆一斤，清麻油六两，皂角二寸，油烟煤六钱，铅粉一钱，诃子一个，右用炭火同熬煎，候见鸜鹆眼上，用铁刀子上试，牵得成丝为度，绵滤过为黳光也”。其“合琴光法”条载：“煎成黳光一斤，鸡子清二个，铅粉一钱，研，清生漆六两，右用同调和合匀，亦须看天时气，并漆紧慢。如冬天用，加生漆八两至十两；如夏天用，即减五两。春（秋）二时增减随时，并须临时相度，上简试之。如见干迟即更入些生漆，如或干速即更入些黑光，少点些麻油和好绵滤过，然后用之。”此炼漆所用主要是掺和法，即兑入麻油，掺入鸡子清、皂角、油烟煤、铅粉等。这是今见文献中，关于炼漆工艺的最早记载。类似的记载南宋时期亦可看到。

**四、装饰技术的发展**

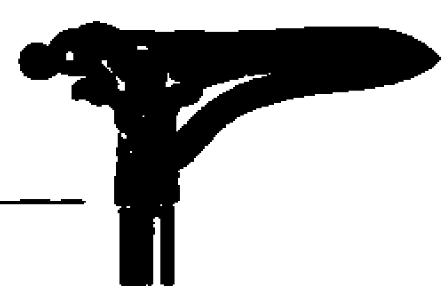
由前可知，先世发明出来的许多装饰技术，如素色漆、金银钔、填漆、雕漆、犀皮、戗金等，此期都有使用，很可能此期还发明了薄螺钿片。在此较值得我们关注的当是素色漆、薄螺钿、漆雕和犀皮工艺的发展，以及漆沙器之再现。

（一）素色漆技术

从考古资料看，在早期漆器中，大约相当大一部分都是素髹的，如余姚河姆渡漆器、常州马家浜文化漆器等。由于人类对艺术的热切追求和早期艺术门类之贫乏，原始的素髹很快就为彩色漆器所取代。此后，素色漆器使用量大为较少。及唐，由于制瓷技术的发展和社会艺术重心的转移，彩绘漆开始受到冷落；前云湖北监利唐代砖石墓中出土了8件漆器，都是素色的；这种情况在宋后有了进一步发展。虽唐、宋素色漆是在原始素色漆基础上发展起来的，但其退光技术更为精到。上述淮安北宋墓漆器、杭州老和山宋墓漆器、汉阳十里铺北宋墓漆器、辽宁法库叶茂台辽代漆器等，都大量地使用了素色漆。素色漆器之重新兴起，是此期髹饰工艺的一个重要特点。

素髹使用最多的是黑、红二色，并相应出现了黑光（黑髹）、朱红（朱髹）等名。这些名称虽见于元、明时期，但有关工艺却早已出现。

对于“黑光”（黑髹）的具体操作，元陶宗仪《辍耕录》卷三〇“髹器”曾有过详细描述。云:“髹工买来（卷素等物），刀刳胶缝，干净、平正。夏日无胶汎之患，却炀牛皮胶和生漆，微嵌缝中，名曰捎当。然后胶漆布之，方加粗灰，灰乃砖瓦捣屑筛过，分粗、中、细也。胶漆调和，令稀稠得所。如髹工自家造卖低歹之物，不用胶漆，止用猪血厚糊之类而用麻筋代布，所以易坏也。粗灰过停，令日久坚实，砂皮擦磨，却加中灰，再加细灰，并如前。又停日久，砖石车磨去灰浆洁净。一二日，候干燥，方漆之，谓之糙漆。再停数月（日）车磨糙漆，绢帛挑去浆迹，才用黑光。黑光者，用漆斤两若干，煎成膏，再用漆如上一半，加鸡子清打匀，入在内，日中晒翻三五度，如栗壳色；入前项所煎漆中和匀，试简看紧慢；若紧，再晒；若慢，加生漆，多入触药，触药即铁浆沫，用隔年米醋，煎此物，干为末，入漆中，名曰黑光。用刷蘸漆漆器物上，不要见刷痕。停三、五日，待漆内外俱干，置荫处晾之，然后用揩光石磨去漆中类。揩光石，鸡肝石



也，出杭州上柏三桥埠牛头岭。再用篛帉，次用布帉，次用菜油傅，却用出光粉揩，方明亮。”可知此黑光操作大体可分作六步：（1）捎当。即将器胎的接口、裂缝等处填以法漆，之后通体刷生漆。《髹饰录》“质法”第十七“捎当”杨明注还说，若“器面窳缺，节眼等深者，法漆中加木屑斮絮嵌之”[20]。（2）胶漆涂布，并加粗灰、中灰、细灰，每次皆须令其日久坚实，砂皮擦磨。（3）上糙漆。（4）制“黑光”。用漆、鸡子清、触药（铁浆）依法制成。这种掺入铁浆的工艺直到20世纪50年代还在使用[21]。（5）上黑光。前此须经车磨绢帛挑去浆迹。若细分来，此最后一道“上黑光”便有五道操作，即揩光石推光、篛帉推光、布帉推光、菜油推光、出光粉推光。

《辍耕录》提到的触药即铁浆，主要成分是氢氧化铁，这是黑漆呈色的一个重要因素。触药与隔年米醋煎煮后，可能会生成醋酸铁。醋酸铁水解后，便会得到部分低价和高价的铁盐和铁氧化物。其作用机理，大约一方面是本身的呈色，另一方面还可起到催化剂的作用。纺织业的染色工艺中亦常使用铁浆，它便是作为染黑媒染剂的，前引梁陶弘景云：“铁落是染皂铁浆”[22]。至于铁浆的制法，前引唐陈藏器云：“取诸铁于器中以水浸之，经久色青沫出，即堪染皂者”[23]。

对于“朱红”操作法，《辍耕录》卷三〇亦有说明：“朱红，修治布灰一一如前，不用糙漆，却用赗朱桐叶色。然后用银朱，以漆煎成膏子，调朱。如朱一两，则膏子亦一两，生漆少许，看四时天气试简加减，冬多加生漆，颜色闇。春秋，色居中；夏四、五月，秋七月，此三月颜色正，且红亮”。此操作与黑光有一定差别，此作色剂是银珠，并特别强调节气对髹漆质量的影响。今在传统朱红工艺中同样使用银朱[21]。

（二）雕漆技术的发展

雕漆至迟发明于后赵或孙吴时期，直到宋代才有了较大的发展。前述常州北环新村北宋银衬漆罐、银衬扁圆漆盒，以及下面将要谈到的沙洲宋代银衬漆碗、金坛雕漆扇柄等，皆属这一类型。

文献上关于宋代雕漆的记载较多，而且多属金银胎。黄成《髹饰录》“雕镂”第十“金银胎剔红”说宋内府中器有金胎银胎。杨明注云：“金银胎多文，间见其胎也。漆地刻锦者，不漆器内。又通漆者，上掌则太重。鍮锡胎者多通漆。”[14]此第一、三两句，都是说的雕漆。

明高濂《遵生八笺》卷一四“燕闲清赏笺上・论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”条：“高子曰：宋人雕红漆器，如宫中用盒，多以金银为胎，以朱漆厚堆至数十层，始刻人物楼台花草等像，刀法之工，雕镂之巧，俨若画图。”[24]

明张应文《清秘藏》卷上“论雕刻”也有类似的记载：“宋人雕红漆器，宫中所用者多以金银为胎，妙在刀法圆熟，藏锋不露，用朱极鲜，漆坚厚而无敲裂，所刻山水楼阁谷物鸟兽，皆俨若图画为佳绝耳。”[25]

谢堃《金玉琐碎》：“宋有雕漆盘盒等物，刀入三层，书画极工，竟有以黄金为胎者，盖大内物也。民间有银胎、灰胎，亦无不精妙。近因贾肆跌损一器，内露黄金，一时喧哄，争购剥毁，盖利其金。殊不知金胎少而灰胎多。一年之内，毁剥略尽。”[26]

这类雕漆器在民间藏品中亦偶有所见。近代古器物家袁励准收藏有宋政和雕漆小盒1件，黄金胎，上刻云龙。邓之诚《骨董续记》卷三“政和雕漆盒”称：“袁珏生侍讲藏宋雕漆小合，迳不及寸，金底上刻云龙，鳞鬣筋肉，骨角爪牙，夭矫飞动，宛若生成，平生所见雕漆，此为第一。迥非明漆可比，底刻‘政和年制’四字隶书，刀法圆劲，必出当时名手。”[27]

类似的记载还有一些，不再一一引述。宋人喜用金银胎漆器作雕镂，未知是何缘由，或与金银性能较为稳定有关。当然，主要还是为了显示其华丽的效果。

（三）犀皮漆器技术的发展

犀皮漆器始见于孙吴时期，唐代便有记载；到了宋代，有关实物明显增加，有的地方还出现了犀皮铺，说明这一工艺有了较大发展。

1977年，江苏沙洲县宋墓出土2件银衬剔犀碗，碗高6.5厘米、口径14厘米、厚0.5厘米、底径6厘米，圈足。漆碗为木胎，由宽0.3厘米、厚0.1厘米的多层薄木片圈叠而成，两面堆漆。碗之内壁衬银，银片由底及口沿外，之后反转嵌入漆中。外表剔犀，紫面，红、黄、紫三色相间，通体云钩纹。碗口以麻布包沿。一件完好，一件的银箔已与木胎脱离。银层表面今已变黑，但内层依然洁白[5][12]。

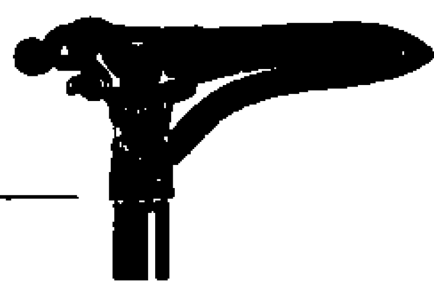
1975年，江苏金坛南宋周瑀墓出土2把团扇，长圆形，以细木杆为扇轴，以竹篾丝为扇骨，其中一把的扇柄属犀皮工艺，其略呈橄榄形，夹纻胎，柄长12.5厘米，最大径2.4厘米。剔犀纹为三组如意云头纹，并刻有“如意”二字。剔犀表层和底层皆为黑漆，中间为朱、黑二色更叠，朱漆约10余层。另一把的扇柄为镂空雕漆。周瑀卒于南宋淳祐九年（1249年）[28][29]。

20世纪50年代初，山西大同一金代墓出土1件剔犀奁，出土时业已散开，经复原，奁长24厘米、宽16厘米、高12.2厘米。楠木夹纻胎，壁厚0.4～0.5厘米，用燕尾榫斗拼，外表糊一层麻布，之后髹漆。内髹褐红漆，外为剔犀，通体凸起香草纹，婉转缠绕，布满全奁。奁盖与奁体子口相扣，内卡托盘一个，托盘四周及底皆髹褐红漆，正面亦饰香草纹剔犀。托盘长20.6厘米、宽13.7厘米、深3.7厘米。经考察，此奁的剔犀工艺是：面及底皆用黑漆，中间朱漆两层，夹黑漆一层，漆皮厚约0.12厘米，朱黑相间[30]。

1982年，四川彭山南宋虞公著墓出土剔犀圆盒盖1件。木胎，直径7.7厘米、高1.5厘米，剔犀表层朱红，剔云纹。盒体已失，盖已朽，仅存盖之剔犀漆层[31]。

前面提到，1976年、1978年，常州市武进县村前乡南宋墓地出土14件漆器，其中有剔犀执镜盒1件，木胎，长27厘米、直径15.4厘米、高3.2厘米，采集。剔犀表层髹黑漆，中间为朱、黄、黑三色更叠；器内髹黑漆。剔犀为云纹，大部脱落，仅左下及柄周沿尚存约1/5。另外，如前所云，其镜箱也“有可能是剔犀工艺”。[1][2]

此期文献上关于犀皮的记载也更为明确。宋程大昌《演繁露》卷九“漆雕几”条载：“《邺中记》：石虎御座几，悉雕漆，皆为五色花也。按今世用朱、黄、黑三色漆沓冒而雕刻，令其文层见叠出，名为犀皮。”这里既提到了普通雕漆，也提到了犀皮。程大昌为南宋绍兴进士。值得注意的是，程大昌是把雕漆与犀皮归于一





类的，说石虎时便有了雕漆，宋人用三色漆沓冒而雕，其文层见叠出，是为犀皮。程大昌的归类法与明黄成《髹饰录》是一致的；黄成把剔红、剔黄、剔黑、剔绿等普通雕漆，与剔犀一起，都归入到了“雕镂”类中。

明初曹昭《格古要论》卷下“古漆器论”也说到过剔犀，云：“古剔犀，以滑地紫犀为贵，底如仰瓦，光泽而坚薄，其色如枣色，俗谓之枣儿犀；亦有剔深峻者。次之福州旧做色黄滑地园花儿者，多谓之福犀，坚且薄，亦难得。”[32]曹昭为松江人，此书成于明洪武二十年（1387年）。此“古”，当指宋、元时期。

此外，据吴自牧《梦粱录》卷一三“铺席”谈到了杭州城里许多著名的铺子，其中便有“清湖河下戚家犀皮铺、里仁坊口游家漆铺”、“水巷桥河下针铺、彭家温州漆器铺”。耐得翁《都城纪胜》“铺席”条也谈到过“温州漆器铺”等[33]。

（四）关于螺钿技术的记载和薄螺钿漆器的发明

我国古代螺钿漆器约发明于大甸子夏家店下层文化时期，西周时期便有了发展，唐代曾一度兴盛。但有关“螺钿”一词似乎是到了宋代才见于记载。宋方勺（1066～?）《泊宅编》卷中载：“螺填器本出倭国，物象百态，颇极工巧。”此“填”当即将螺片填入漆面之意，亦即“螺钿”。钿者，饰宝也，以金银贝壳等镶嵌器物也。方勺说螺填器本出倭国，这是失考的，但这却是今见文献中，较早提到“螺填(钿)”这一全称的地方。

从文献记载和考古资料看，我国古代漆器之钿螺有厚薄两种，并代表了两种不同的风格和技术。《髹饰录》“填嵌”第七“螺钿”条杨明注云：“壳片古者厚，而今者渐薄也。”这一个“古”字系指何时？因杨明为明天启西塘人，故已往认为其当指明代以前；20世纪70年代时，因有元代薄螺片出土，故人们便将此“古”字提到了宋代；20世纪80年代末，王世襄等又将此“古”字提到了北宋以前，认为北宋以前可谓之“古”，北宋之后可谓之“今”；认为薄螺钿技术应发明于北宋时期，南宋便已流行开来，并达到高度发展的水平[13]。其主要依据是：（1）北宋苏汉臣所绘《秋庭婴戏图》上有两具五开光黑漆坐墩，上面密布了浅色缠枝莲纹，其写状便是薄螺钿[34]。（2）周密《癸辛杂识》“别集卷下”谈到过一件螺钿桌面屏风十副，图贾似道事迹十项[35]，其上必有众多人物、宫殿楼阁、山水景色和战争场面，这只有薄螺钿才能成就。我们以为，这些说法都是有一定道理的，但最后的结论仍需事实来支持。

（五）漆沙器

迄今为止，宋代漆沙器之事只见于文献记载，有关实物一直未见。清康熙年间，扬州漆艺名家卢映购得了一件宋宣和年间内府制作的漆沙砚；清道光时，顾千里从卢映之孙卢葵生处看到了此物，并作《漆沙砚记》，以纪之。云：“邗上卢君葵生以漆沙砚见惠，且告予曰：康熙丁酉春，先大父于南城外市中买得一砚，上有‘宋宣和内府制’六字，其形质类澄泥而绝轻，入水不沈（沉），甚异之，久后知其为漆沙所成。”[36]这整段文献谈到了宣和漆沙砚的发现过程，及其部分性能。可知此砚为漆沙所成，其质甚轻，入水不沉。顾千里《思适斋集》卷一七“漆沙砚铭”也谈到了这枚宣和砚，云：“日万字墨此可磨，得之不复求宣和。”[37]有关情况在清代部分还要谈到。

## 第十一节 玻璃技术

此期的玻璃依然以高铅型为主，吹制技术广泛地采用起来，玻璃器皿的使用量又有了扩展。伊斯兰玻璃较多地传入我国。

**一、玻璃使用的一般情况**

（一）玻璃出土的一般情况

宋、辽玻璃器在南北多省都有出土，主要有下面几处：

1. 甘肃灵台五代末至宋初舍利石函。1957 年出土，有玻璃器 3 件，皆葫芦瓶，瓶底内凹，器形规整，壁薄均匀，透明度较大，分别为乳白色、绿色、米黄色。外口沿系将拉成条状的玻璃丝热粘而成[1]。

2. 河北定县北宋塔基。1969 年，河北定县两座（5、6 号）北宋塔基出土 70 余件玻璃器[2]，其中有国产的，也有伊斯兰玻璃。属后者的有玻璃瓶 7 件、玻璃碗（或作盆）1 件、玻璃杯（或作缸）2 件等，其余多为国产。

其中 5 号塔始建于北魏，最后一次建于北宋太平兴国二年（977 年），塔基中出土有玻璃缸（或作杯）3 件、玻璃盆（或作碗）2 件、玻璃瓶 7 件、玻璃葡萄一串及其他玻璃制品 24 件。其中有一种刻花玻璃瓶，细长颈、折肩、平底，颈部和腹部都刻有几何形花纹，属伊斯兰玻璃制品。一件玻璃碗器形较大，壁薄，底部有疤痕，成型时当采用了铁棒技术。出土玻璃葡萄大小不一，有圆形、椭圆形；薄壁，中空，半透明；无模吹制，以棕色为多。玻璃葫芦瓶呈金黄色，透明度较好，内有气泡，无模吹制[2]。

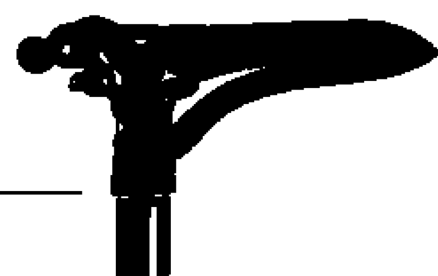
其中的 6 号塔建于北宋至道元年（995 年），塔基内出土有玻璃盆（又作碗、杯）1 件，玻璃葫芦 33 件。前器体形稍大，腹壁较薄，淡绿色，半透明，无模吹制；器壁有密集的冰裂纹和小气泡，口沿呈六出花瓣状。经同位素 X－衍射荧光分析，其硅、铅量偏高，属高铅玻璃。玻璃葫芦中，有 20 件经过了 X 射线荧光分析，均属于铅玻璃[2]。

3. 河南密县北宋塔基。出土的玻璃器中，可辨器形者约 50 余件，有白色、淡绿色两种颜色；包括壶形鼎，细颈瓶，椭圆形蛋形器，宝莲形物，鸟形物等[3]。

4. 浙江瑞安北宋慧光塔。1966～1967 年，塔内发现一批北宋文物，玻璃器有：刻花玻璃瓶 1 件、小玻璃瓶 1 件、玻璃珠 2 件，其中刻花玻璃瓶高 9 厘米，浅蓝色，口沿平折，长颈鼓腹，腹部划花，内储细珠粒，当属伊斯兰玻璃；小玻璃瓶高约 3～4 厘米，小口平底，薄如蛋壳，已碎[4]。

5. 天津蓟县独乐寺塔室。1983 年在塔室发现 4 件玻璃器，有刻花玻璃瓶 1 件、绿玻璃葫芦瓶 1 件、绿玻璃瓶 2 件，其中刻花玻璃瓶高 26.4 厘米，口径 7.8 厘米，颈高 10.5 厘米，表面有黄色风化层，细长颈，平底，底部有疤痕，颈部和肩部都刻有花纹。经分析为钠钙玻璃，当系伊斯兰制品。绿玻璃葫芦瓶，平口，透明度差，高 3.7 厘米。在上层塔室中还发现有辽清宁四年（1058 年）石函[5][6]。

6. 辽宁朝阳姑营子辽耿氏墓。1977 年，耿延毅夫妻合葬墓出土有绿色玻璃把杯 1 件、黄色玻璃盆 1 件[7]。



7. 内蒙古奈曼旗辽代陈国公主墓。1986 年，辽陈国公主（1000 ~ 1018 年）墓出土玻璃 7 件，计有带把玻璃杯 2 件、刻花玻璃瓶 1 件、乳钉纹玻璃瓶 1 件、刻花玻璃盘 1 件、高颈水瓶 2 件。只有 1 件杯和 1 件盘保存较好，有 4 件可复原，1 件无法复原。造型美观，工艺精致，多为吹制，皆系中亚制品[8]。

8. 安徽无为县宋代舍利塔下小墓（1036 年）。1971 年出土磨花蓝玻璃瓶 1 件，为伊斯兰制品[9]。

这是宋、辽时期玻璃出土的部分情况，此外安徽无为、江苏连云港等地都有出土，器物有玻璃瓶、碗、杯、玻璃葫芦等器皿，以及玻璃葡萄、玻璃蛋形器、玻璃鹅等饰器。在这些玻璃器中，有不少属伊斯兰制品，如内蒙辽代陈国公主墓 7 件，蓟县独乐寺白塔 1 件、浙江瑞安北宋慧光塔 1 件、河北定县北宋塔基 1 件，安徽无为 1 件等，这自然是中外文化技术交流的重要见证，对我国古代玻璃技术的发展当也产生过积极的影响。

（二）从文献记载看宋代玻璃的产地和使用

玻璃器在宋、辽时期虽然仍较珍贵，但还是有不少使用；既有外域传来，也有中国所产；当时的苏州、福州、新安等地都有生产。

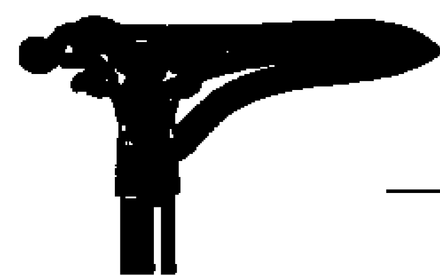
周密《武林旧事》卷二“元夕”条有一段关于杭州元宵节使用琉璃灯的记载，云:“禁中自去岁九月菊灯……鳌山灯之品极多，每以苏灯为最，圈片大者径三四尺，皆五色琉璃所成……福州所进则纯用白玉晃耀夺目，如清水玉壶爽澈心目。近岁新安所进益奇，虽圈骨，悉皆琉璃所为，号无骨灯。禁中尝令作琉璃灯山，其高五丈，人物皆用机关活动……连五色琉璃阁……有幽坊静巷好事人家，设五色琉璃泡灯，更自雅洁。”[10]这里谈到了元宵节禁中使用“琉璃(玻璃)灯”的情况，不但种类极多，而且数量大，其灯山高五丈，若依中国国家博物馆所藏宋木矩尺（0. 309 米）计[11]，则达 15. 45 米。

宋蔡绦《铁围山丛谈》卷六还谈到过进口半成品玻璃料。政和四年，“奉宸中得龙涎香二，琉璃缶、玻瓈母二大篚。玻瓈母者，若今之铁滓然，块大小犹儿拳，人莫知其方，又岁久无籍，且不知其所从来，或云柴世宗显德间大食所贡；又谓真庙朝物也。玻瓈母诸珰以意用火煅而模写之，但能作珂子状，青红黄白随其色”[12]。

此“玻瓈母”当即作为半成品的玻璃料块，可用火煅而范铸之。

（三）关于宋代琉璃遗址的发掘

1995 年，江苏镇江清理一座宋代琉璃炼炉，出土有多件小型坩埚、炼渣块、琉璃象棋子、琉璃发簪，以及大量陶瓷文物等。炼炉 1 座，残，以砖砌成，内径约 1. 2 米；炉壁内附有红烧土。坩埚为陶质，口径 5. 5 ~ 6. 5 厘米，高 6. 2 ~ 7. 2 厘米；埚内多有琉璃附着层，坩埚外底多戳有“小尹大（窑）”字样，很可能是一处私营作坊。棋子计 4 枚，呈圆形，直径 2. 5 厘米、厚 0. 4 厘米，阴文，其中 3 枚泛蓝（两“卒”一“士”），1 枚泛白（“士”）[13]。看来，此琉璃窑作坊应是以现成的琉璃料块为原料，置坩埚内，再置于砖窑内加热熔化，之后再采用模铸法制作象棋子、发簪等小型器物的。此“琉璃棋子”是世俗称谓，其物质结构到底是以晶态为主，还是以非晶态为主，因尚未进行分析而不便妄加推测，自然也不能排





除其多为玻璃态的可能性。但不管怎样，对我们了解宋代玻璃生产都是有一定帮助的。

## 二、玻璃的成分选择和成型技术

### （一）宋及伊斯兰玻璃标本成分分析

**表 6－11－1　　宋及伊斯兰玻璃成分分析**

| 名称 | 成分（%） | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | PbO | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | $Mn_2O$ | |
| 定县北宋绿葫芦玻璃瓶，透明吹制 | 26.85 | 70.04 | | 0.19 | 0.35 | 0.1 | 0.34 | 0.18 | 0.41 | 0.02 | [14]<br>[22] |
| 甘肃灵台北宋淡绿玻璃瓶，透明吹制 | 36.32 | 50.31 | | 0.16 | 0.13 | 0.1 | 10.09 | 0.29 | 0.13 | 0.02 | [14]<br>[22] |
| 密县北宋淡绿玻璃鹅，吹制，热粘 | | 47.34 | | 0.15 | 0.17 | 0.04 | 11.45 | 0.08 | 0.18 | | [15] |
| 密县北宋深红蛋形玻璃器，吹制 | 33.78 | 40.15 | 2.62 | 3.15 | 3.52 | 0.31 | 14.78 | 0.13 | 1.32 | | [15] |
| 密县北宋深黄色蛋形玻璃器，吹制 | 31.66 | 41.57 | 2.22 | 4.39 | 3.35 | 0.3 | 13.75 | 0.11 | 0.4 | | [22] |
| 定县北宋黑褐色玻璃葡萄，吹制 | 36.93 | 45.93 | 1.11 | 4.13 | 0.36 | 0.08 | 8.45 | 0.08 | 1.44 | | [15] |
| 天津独乐寺伊斯兰刻花玻璃瓶，无色透明 | 67.63 | | 1.28 | 0.39 | 6.21 | 5.4 | 2.3 | 13.62 | | MnO<br>0.34 | [16] |
| 安徽寿县宋绿玻璃小瓶 | 27.88 | 66.86 | 0.32 | 0.2 | 0.22 | 0.04 | 0.53 | 0.13 | 2.96 | | [21] |
| 安徽寿县宋黄玻璃小瓶 | | 67.83 | 0.44 | 1.77 | 0.33 | 0.07 | 0.61 | 0.21 | 0.4 | | [21] |
| 内蒙奈曼旗伊斯兰高颈玻璃瓶 H90 | 68.00 | | 3.85 | 0.83 | 6.40 | 2.74 | 4.11 | 12.35 | | MnO<br>0.98 | [8] |
| 内蒙奈曼旗伊斯兰乳钉纹高颈玻璃瓶 H61 | 59.78 | | 4.20 | 0.21 | 4.56 | 6.46 | 3.95 | 20.66 | | MnO<br>0.15 | [8] |
| 内蒙奈曼旗伊斯兰带把玻璃杯 167 | 63.66 | | 4.07 | 1.25 | 6.25 | 3.18 | 4.27 | 15.58 | | MnO<br>0.18 | [8] |
| 内蒙奈曼旗伊斯兰刻花高颈玻璃瓶 H57 | 66.55 | | 4.35 | 1.10 | 6.00 | 3.27 | 3.84 | 13.48 | | MnO<br>0.86 | [8] |
| 新疆叶城县伊斯兰玻璃器座，浅绿色，半透明，表层风化 | 58.27 | | 5.38 | 0.97 | 11.88 | 4.04 | 5.51 | 12.87 | | | [21] |
| | 61.03 | | / | 1.01 | 5.68 | 3.81 | 6.06 | 15.18 | | 0.04 | [21] |
| 铅钾系平均值 | 34.67 | 45.06 | 1.19 | 2.4 | 1.51 | 0.17 | 11.7 | 0.14 | 0.69 | | |

注：（1）除表中所列，天津蓟县独乐寺刻花玻璃瓶残片尚含 $TiO_2$ 0.07%。

（2）7 件伊斯兰玻璃的年代为：天津独乐寺玻璃，早于 1058 年；内蒙奈曼旗玻璃，早于 1018 年；新疆叶城玻璃，相当于宋、元时期。

表 6－11－1 所列是今人分析的 15 件宋、辽玻璃标本，其中有瓶 8 件，杯 1 件，蛋形器 2 件，玻璃鹅和玻璃葡萄各 1 件，器座 2 件，后二者原断代约与宋、元相当；分别出土于河北定县、甘肃灵台、河南密县、内蒙奈曼旗、天津蓟县、新疆叶城县宋、元居住遗址。其中有宋器，亦有伊斯兰器。

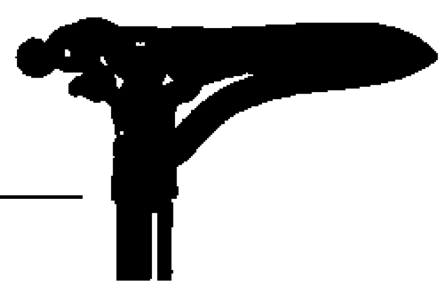
这些成分大体上可区分为 2 系 6 型：

1. 铅系，3 型 8 件。

$PbO-SiO_2$ 型，3 件，即定县北宋塔基绿葫芦瓶 1 件、安徽寿县玻璃小瓶 2 件。前者 PbO 含量高达 70.04%，但其他熔剂量皆较低。

$PbO-K_2O-SiO_2$ 型，3 件，即甘肃灵台淡绿瓶、密县淡绿玻璃鹅、定县黑褐色玻璃葡萄。

$PbO-K_2O-CaO-SiO_2$ 型，2 件，即密县深红蛋形器、密县深黄色蛋形器。



2．钠系，3 型 7 件。

$Na_2O-CaO-MgO-SiO_2$ 型，1 件，即天津独乐寺刻花水瓶。

$Na_2O-CaO-K_2O-SiO_2$ 型，5 件，即内蒙奈曼旗陈国公主墓玻璃瓶 3 件（H90、H61、H57）、带把玻璃杯（167 号）1 件、新疆宋、元玻璃器座 1 件。

$Na_2O-K_2O-CaO-SiO_2$ 型，即另 1 件新疆宋、元玻璃器座。

此 2 系 6 型玻璃中，一般认为，铅系应是本国所产；钠系 3 型则不管从器形还是成分上看，都可能是外域传来的。看来，宋代国产玻璃依然是以高铅为主的。

国产玻璃主要是铜和铁着色，几件进口玻璃则主要是锰着色。有的器物，如定县塔基绿葫芦瓶可能 CuO 的作用更强一些，但多数器物则可能是两种或多种着色剂共同作用的结果，如定县北宋玻璃葡萄呈黑褐色，其 $Fe_2O_3$ 量高达 4.13%，CuO 量达 1.44%，显然不是单一着色剂的作用。

（二）从文献记载看铅玻璃的成分配制

铅玻璃至迟出现于战国时期，汉代亦有使用，唐代便占据了主导的地位，但有关以铅作为玻璃原料的记载却是到了宋代才看到的，此时对铅玻璃性能的认识也已相当明确。

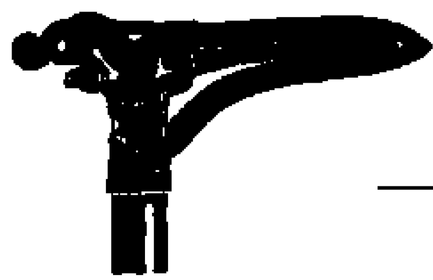
宋程大昌《演繁露》卷三“流离”条引苏东坡《作药玉盏》诗云：“熔铅煮白石，作玉真自欺。”[17]此“白石”可能指石英石，“熔铅煮白石”当指铅与石英石在一起熔炼，“作玉”当指制作铅玻璃，当属 $PbO-SiO_2$ 系。可见直到北宋时期，人们依然是把玻璃工艺视为仿玉的。

程大昌在同书同卷又云：“然中国所铸有与西域异者，铸之中国则色甚光鲜，而质则轻脆，沃以热酒，随手破裂。至其来自海舶者，制差朴钝，而且亦微暗；其可异者，虽百沸汤注之，与磁银无异，了不损动，是名番琉璃也。番流（琉）璃之异于中国流（琉）璃，其别盖如此。”[17]此“琉璃”即玻璃，这里谈到了国产铅玻璃与蕃玻璃的性能差别，即国产铅玻璃“色甚光鲜”，而质“轻脆”，蕃玻璃则色“微暗”，而热稳定性却较好。这里的叙述基本属实。说明早在宋代，人们对铅玻璃的性能已有了较深认识。

宋赵汝适《诸蕃志》卷下“志物·琉璃”条也有类似的说法：“琉璃出大食诸国，烧炼之法与中国同，其法用鈆、硝、石膏烧成，大食则添入南鹏砂，故滋润不烈，最耐寒暑，宿水不坏，以此贵重于中国。”[18]此“琉璃”即玻璃。这段话可能有脱字或衍文，从现有研究资料和上下文看，“其法用鈆、硝、石膏烧成”一语应是专指中国玻璃的，其应属 $PbO-K_2O-CaO-SiO_2$ 型；而“大食则添入南鹏砂”则是专指大食玻璃的，鹏砂即 $Na_2BO_7\cdot10H_2O$。所以这段文字还谈到了中国和大食玻璃的原料，及其性能上的差别。但引文中忽略了石英石，它应是传统玻璃的重要组成之一。在今接触到的分析资料中，PbO 含量最高的标本是唐玻璃小佛像（中度风化，表 5－11－1），达 75.9%，但其中亦含 $SiO_2$21.3%。

宋杜绾《云林石谱》（绍兴三年）卷中也谈到过铅玻璃的制作：“西京洛河，水中出碎石，颇多青白，间有五色斑斓，采其最白者，入铅和诸药可烧变假玉，成琉璃用之。”[19]

由上述可见，宋人所制主要还是铅玻璃。





宋李诫《营造法式》卷一五“窑作制度”条还记载了建筑用琉璃的制造法，对我们了解宋代玻璃原料也是有一定帮助的。其云：“凡造瑠璃等之制，药以黄丹、洛河石、铜末，用水调匀（原注：冬月以汤），甋瓦于背面，鸱兽之类于安卓露明处（原注：青棍同），并遍浇刷瓪瓦于仰面内中心。”黄丹，氧化铅；洛河石，当为一种石英石。可见这是一种以铜着色的铅琉璃。隋何稠琉璃以绿瓷为标样，它们大体皆属于同一类型，都是一种建筑材料。同书同卷接着又说：“凡合瑠璃药所用黄丹阙炒造之制，以黑锡盆硝等入镬，煎一日为麤渣，出候冷，捣罗作末，次日再炒塼，盖掩，第三日炒成。”[20]此“黑锡”即铅；盆硝，又名芒硝，即 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$。“塼”，煎炒。自然，此便是一种铅钠琉璃。宋人既已使用盆硝制作琉璃，也不能排除其用盆硝制作过玻璃的可能性，即宋代也可能生产过铅钠玻璃。

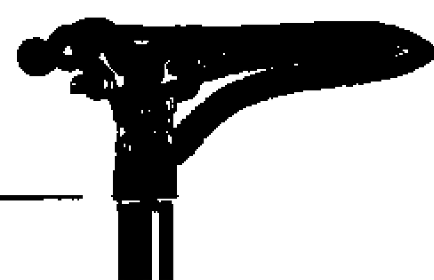
此外，还值得一提的是《白雪圣石经》的有关记载。此书收于《道藏》的《铅汞甲庚至宝集成》卷四中[23]，其记述了多项“玻璃”等烧料工艺，为我们提供了不少宝贵资料。但作者和成书年代不详，有学者定之为唐[24]，有学者定之为宋、金及至稍后[25]，其实皆无确凿的依据。《铅汞甲庚至宝集成》收录的各篇章大体皆属唐、宋时期，其卷四收录的《丹房镜源》中，提到过“信州铅山县”这一地名，而铅山县是南唐设置的，故今将《白雪圣石经》暂置于宋代处。

《白雪圣石经》约记述了 15 种不同的玻璃工艺，其谓称之“十五变”。基本原料有二：一是白垩石，当即白垩，方解石，基本成分是 $CaCO_3$；二是白石，当即石英石，基本成分是 $SiO_2$。其“第一变”是：将此二物加水煮制，并取疏松的石花置罐中加热一昼夜，产品为一团雪白的“圣石”。这是最为基本的工艺，其中的“石花”成分不明。其余十四变中，有的是在“第一变”的基础上，有的则是在“前一变”的基础上衍生出来的；各“变”的主要差别是再加入了不同数量的白石，或铅汞等药物，从而得到了一些不同成分、不同颜色的产品。这些产品都有不同的名称，第一变名“圣石”，第二变名“戎盐”，第三变名“琉璃”，第四变名“青砂石”，第七变名“道玻璃”，第八变名“碧波石”，第十一变名“五色石”，第十五变名“玻璃石”。第十变还谈到了以模成型。其中第十五变的工艺操作为：“母珠砂，（白垩、白石）同煎取花，入器中，烧作火色一伏时，锅中熔为锭子，名为第十五变保生丹，又名玻璃石。法用雌、雄、空青、石碌、水银珠、硫、砂，此七种石，皆得成宝。以上诸石各一斤，别捣为末，以玻璃一两和研，见风便硬，表里光明，火烧不热，即是上等美玉。”可见此第十五变得到的“玻璃石”还可与“七石”炼成上等美玉。“七石”中，雌、雄黄含硫含砷，可作助熔剂和乳浊剂；空青、石碌皆含铜，可作着色剂。总体上看，此“十五变”大体上皆属传统的玻璃或烧料工艺，其中约有 9 种，或说“九变”为铅玻璃，包括铅钙玻璃和铅锡玻璃等。

（三）吹制技术的进一步推广

从大量实物考察来看，宋、辽玻璃成型技术中值得注意的事项主要有三：

（1）吹制技术进一步推广开来，表 6－11－1 所列 6 件国产玻璃皆系吹制成型。许多器物皆器形规整、壁厚均匀、透明度较高，一定程度上反映了玻璃熔炼和成型技术的提高。



（2）热粘技术亦更多地使用起来。如甘肃灵台五代末至宋初舍利石函玻璃瓶，其口沿是将拉成条状的玻璃热粘成的。

**三、关于宋代文献中“玻璃”一词的含义**

由前可知，宋代对玻璃仍有多种称谓，如“琉璃”、“玻瓈”、“流离”、“药玉”等。此外，还出现了“玻璃”一词，前引《铁围山丛谈》、《白雪圣石经》等都曾提及。尽管其含义与现代玻璃未必完全一致，但这毕竟是人们认识水平上的一个进步。今再对有关资料作一分析和补充。

由上可知，《白雪圣石经》中使用了“道玻璃”、“玻璃石”、“玻璃”三个词语，前两个词语是分别与“道”和“石”构词的，后面一个则是以“玻璃”独立构词的。总体上看，书中所云“十五变”皆系一种仿玉的人工烧料，其中可能有一些晶态和非晶态的混合体，有的可能还包含少量细小的气泡，或未熔化的小颗料，但大约也有一部分属于非晶态的玻璃。这说明在宋代，人们已把自己制作的仿玉烧料称之为“玻璃”了。

宋徐竞《宣和奉使高丽图经》卷三四“半洋焦”条也用到了“玻璃”一词：“舟行过蓬莱山之后，水深碧色如玻璃。”[26]此用“玻璃”一词来形容海水的碧色。此“玻璃”当系泛指中国和外国的人工烧料。

如前所引，《武林旧事》卷二“元夕”条是称国产玻璃为“琉璃”的，但同书同卷“赏花”条在提到大食进口者时，却用到了“玻璃”一词：“禁中赏花非一……堂内左右各列三层，雕花彩槛，护以彩色牡丹画衣，间列碾玉水晶金壶及大食玻璃官窑等瓶，各簪奇品”[10]。显然“玻璃”主要指大食制品。但值得注意的是，这种做法在宋代并无普遍性，前云程大昌《演繁露》、赵汝适《诸蕃志》皆未从称呼上把传入品和国产品区别开来，且皆谓之“琉離（璃）”。

总体上看，宋代对玻璃的称谓依然不太统一。不管传入品还是国产品，都使用过“玻璃”这一称谓，但更多情况下则是使用“琉離（璃）”、“流璃”、“药玉”等名的。《武林旧事》曾把传入品和国产品分别称之为“玻璃”和“琉璃”，这大约是部分人的做法。将人工烧制的非晶态物质称为“玻璃”之事，大体上是明末清初之后才逐渐流行开的。

# 参考文献

## 第一节　采矿技术


[1] 白广美:《中国古代盐井考》,《中国盐业史论丛》, 中国社会科学出版社, 1987年。刘春源等:《我国宋代井盐钻凿工艺的划时代革新——四川“卓筒井”》, 自贡市盐业历史博物馆编:《四川井盐史论丛》, 四川社会科学出版社, 1985年。

[2] 宋李心传:《建炎以来朝野杂记》甲集卷一四“蜀盐”(《丛书集成》1837-195)。

[3] 吴天颖:《中国井盐开发史二三事——〈中国科学技术史〉补正》,《中国盐业史论丛》, 中国社会科学出版社, 1987年。1951年川东盐务管理局关于云阳大口井的报告亦转引自此文。

[4] 李约瑟:《中国科学技术史》第一卷第二分册, 第555页, 科学出版社, 1975年。

[5] 丁宝桢、菘蕃、唐炯等:《四川盐法志》卷五, 刊于光绪八年(1882年)。今见《续修四库全书》第842册。

[6] 白广美:《川东、北井盐考察报告》,《自然科学史研究》1988年第3期。波美度, 一种表示卤水等溶液浓度的单位, 与浓度单位“克/升”的基本含义相同, 这两种单位可以进行换算。

[7] 钟长永:《川东北盐业考察报告》,《井盐史研究》第一辑, 1986年12月。

[8]《中国古代煤炭开发史》第72~76页、第67~72页, 煤炭工业出版社, 1986年。

[9] 陕西考古所泾水队:《陕西铜川宋代窑址》,《考古》1959年第12期。

[10] 铜川市旬邑县文化馆等:《陕西新发现两处古瓷窑遗址》,《文物》1980年第1期。

[11] 李时珍:《本草纲目》卷九“金石·石炭·释名”云: 石炭, 又名“煤炭、石墨、铁炭、乌金石、焦石”。

[12] 转引自《本草纲目》卷九“金石·石炭”条“附方”。

[13] 河南省文化局文物工作队:《河南鹤壁市古煤矿遗址调查简报》,《考古》1960年第3期。

[14]《中国古代煤炭开发史》第68~72页, 煤炭工业出版社, 1986年。

[15] 姚志国:《河南鹤壁古代采煤遗址浅见》,《华夏考古》1999年第3期。

[16] 山西省考古研究所:《山西稷山金墓发掘简报》,《文物》1983年第1期。

[17] 河北省文化局文物工作队:《观台窑址发掘报告》,《文物》1959年第6期。又《河北省考古工作介绍》,《考古》1962年第10期。但详情不明。

[18] 河南省文物研究所等:《河南省五县古代铁矿冶遗址调查》,《华夏考古》, 1992年第1期。

[19] 黑龙江省博物馆:《黑龙江阿城县小岭地区金代冶铁遗址》,《考古》1965年第3期。1977年9月, 在王永祥陪同下, 笔者曾与北京钢铁学院(今名北京科技大学)黄务涤等人一起到阿城小岭地区作过调查。

[20] 宋孔平仲:《谈苑》卷一第10页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第335碟。

[21] 铜绿山考古发掘队:《湖北铜绿山春秋战国古矿井遗址发掘简报》,《文物》1975年第2期。

[22] 卢本珊等:《中国古代金矿的采选技术》,《自然科学史研究》1987年第3期。

[23]《太平寰宇记》卷一〇一“江南东道十三·建州·龙焙监”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，第二〇册，第13～14页，武汉大学出版社电子版第224碟。

## 第二节 金属冶炼和加工技术

[1] 唐云明:《河北邢台发现宋墓和冶铁遗址》,《考古》1959年第7期。

[2] 任志远:《沙河县的古代冶铁遗址》,《文物参考资料》1957年第6期。

[3] 河南省文物研究所等:《河南省五县古代铁矿冶遗址调查》,《华夏考古》1992年第1期。南召古冶址原断代为汉，此文订正为宋、元。粉红江整个遗址断代为宋至明，其1号炉的炉径较大，直筒形，其确切使用年代甚难分辨。

[4] 曾广亿:《广东发现古代冶铁遗址》,《光明日报》1962年3月30日。

[5] 陈仲光:《同安发现古代炼铁遗址》,《文物》1959年第2期。

[6] 黑龙江省博物馆:《黑龙江阿城县小岭地区金代冶铁遗址》,《考古》1965年第3期。

[7] 戴念祖等:《中国古代的风箱及其演变》,《自然科学史研究》1988年第2期。

[8]《东坡诗集注》卷三〇。

[9] 朱寿康等:《铜绿山宋代冶炼炉的研究》,《考古》1986年第1期。

[10]《重修政和经史证类备用本草》卷四“柔铁”条引。

[11] 何堂坤:《关于灌钢的几个问题》,《科技史文集》第15辑，上海科学技术出版社，1989年。

[12] 张子高:《中国化学史稿（古代之部)》第101页，科学出版社，1964年。

[13] 杨宽:《中国土法冶铁炼钢技术发展简史》第211页，上海人民出版社，1960年。

[14] 祝慈寿:《中国古代工业史》第457页、学林出版社，1988年。

[15] 何堂坤:《百炼钢及其工艺》,《科技史文集》第13辑，上海科学技术出版社，1985年。

[16] 洪咨夔:《平斋文集》卷一，载《四部丛刊续篇·集部》。

[17] 黄盛璋:《宋代冶金技术初步探》,《科技史文集》第13辑，上海科学技术出版社，1985年。

[18] 赵匡华:《中国历代“黄铜”考释》,《自然科学史研究》1987年第4期。

[19]《舆地纪胜》卷九〇“韶州”下引《长沙志》。孙承平:《〈“浸铜要略”序〉的发现与剖析》,《中国科技史料》2003年第3期。《浸铜要略》二卷，其奠基人是张潜，执笔者是其长子张磐，最后由其次子张甲呈献于朝廷。

[20] 见《宋会要辑稿》“食货”三四。《宋史》卷一八五所载略同。

[21] 郭正谊:《水法炼铜史料新探》,《化学通报》1983年第6期。

[22] 宋人汇辑的丹经《诸家神品丹法》卷六第1页，见《道藏》总第594册。

[23] 何堂坤:《中国古代铜镜的技术研究》、中国科学技术出版社，1992年。

[24] 何堂坤等:《宋代锣钹磬的科学分析》,《考古》2009年第7期。

[25] 吴坤仪:《明清梵钟的技术分析》,《自然科学史研究》1988年第3期。

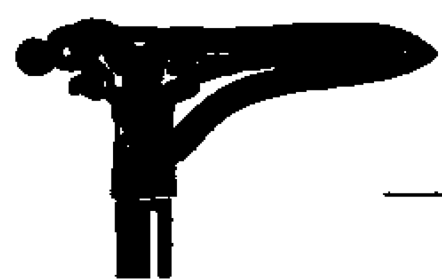
[26] 水上正胜:《志海苔出土古钱的金属成分》,《中国钱币》1985年第3期。阿祥译。

[27] 戴志强等:《北宋铜钱金属成分试析》,《中国钱币》1985年第3期。

[28] 赵匡华等:《北宋铜钱化学成分剖析及夹锡钱初探》,《自然科学史研究》1986年第3期。

[29] 何堂坤等:《江西省博物馆所藏饶州镜及其科学分析》,《文物》1993年第10期。

[30] 何堂坤:《宋镜合金成分分析》,《四川文物》1990年第3期。何堂坤等:《几件金代铜





镜的科学分析》,《北方文物》1990 年第 3 期。

[31] 转引自李时珍:《本草纲目》卷九“铜锡镜鼻”条。

[32] 赵匡华:《我国古代“抽砂炼汞”的演进及其化学成就》,《自然科学史研究》1984 年第 1 期。

[33]《道藏》洞神部众术类,总第 592 册,卷下第 4 页。

[34] 曹元宇:《中国古代金丹家的设备及方法》,《中国古代金属化学及金丹术》,中国科学图书仪器公司,1957 年。

[35]《重修政和经史证类备用本草》卷四“水银”条引。

[36] 郑家相:《历代铜质货币冶铸法简说》,《文物》1959 年第 4 期。

[37] 袁涛:《定位星是我国早期砂模铸造的重要标志》,《自然科学史研究》1994 年第 1 期。

[38] 袁涛:《郭浇柄现象——三论我国古代的砂型铸造》,《江苏钱币》1995 年第 4 期。

[39] 刘鲿:《辽宁北镇发现辽代铜犁范》,《考古》1984 年第 11 期。

[40] 刘景文:《吉林省前郭县出土的金代犁铧铜范》,《东北考古与历史》1982 年第 1 期。

[41] 隆化县文物管理所:《河北隆化县发现金代窖藏铁器》,《考古》1981 年第 4 期。

[42] 何堂坤:《我国古代钢铁刀剑及其工艺》,《五金科技》1982 年第 5 期。

[43]《文物考古工作十年(1979 ~ 1989)》第 112 页“江苏省”部分,文物出版社,1990 年。

[44] 嘉兴博物馆:《浙江嘉兴发现南宋铜锣》,《文物》1980 年第 8 期。

[45] 南京市博物馆:《江浦黄悦岭南宋张同之夫妇墓》,《文物》1974 年第 4 期。

[46] 刘俊勇:《大连谭家屯金代窑藏》,《文物资料丛刊》(8)。1983 年。

[47] 李银德:《徐州雪山寺北宋窖藏纪年文物》,《文物》1990 年第 3 期。

[48] 河北省文物管理处:《河北易县燕下都 44 号墓发掘报告》,《考古》1975 年第 4 期。河北省文物管理处:《河北易县燕下都第 21 号遗址第一次发掘报告》,《考古学集刊》(2),1982 年。

[49] 李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》,《考古学报》1975 年第 2 期。

[50] 中国社会科学院考古研究所等:《满城汉墓发掘报告》第 390 页,文物出版社,1980 年。

[51] 又,据元马临端《文献通考》卷二一四载,《物类相感志》系宋僧赞宁撰。赞宁为吴人。

[52] 吴家瑞等:《黑龙江出土金代铁兵器的金相研究》,全国第二次金属史学术讨论会论文,1985 年 10 月,哈尔滨。

## 第三节 南北制瓷技术的普遍提高和六大窑系的出现

[1] 熊海堂:《中国古代的窑具与装烧技术研究》,《东南文化》1991 年第 6 期。

[2] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第 229 页,文物出版社,1982 年。

[3] 重庆市博物馆:《重庆涂山窑小湾瓷窑发掘报告》,《四川考古报告集》,文物出版社,1998 年。四川彭县磨原藏四川省博物馆,今亦转引自文献 [3]。

[4] 王大方:《赤峰松山区缸瓦窑遗址发掘获重大新成果》,《中国文物报》1996 年 4 月 28 日。

[5] 冯永谦:《赤峰缸瓦窑村辽代瓷窑址的考古新发现》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[6] 贺世伟等:《湖泗窑考古发掘获重要发现》,《中国文物报》1996 年 5 月 12 日。

[7] 陈丽琼等:《四川彭县瓷峰窑调查的收获》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984年。

[8] 马文宽:《关于我国目前的古陶瓷研究》,《东南文化》1994年增刊第1辑。

[9] 韦仁义:《广西藤县宋代中和窑》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984年。

[10] 广西壮族自治区文物工作队:《广西永福窑田岭宋代窑址发掘简报》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984年。

[11] 盛久远:《杭州发现南宋陶瓷作坊遗址》,《中国文物报》1997年1月26日。

[12] 李民举:《宋官窑论稿》,《文物》1994年第8期。

[13] 牟永杭、任世龙:《官哥简论》,《湖南考古辑刊》第3集。

[14] 沈岳明等:《越窑考古又获重大突破——出土大量精美瓷器,首次发现作坊遗址和南宋龙窑遗址,发现南宋初期宫廷用瓷产地,为解决贡窑、秘色瓷等学术问题提供可靠实物资料》,《中国文物报》1999年1月20日。其中亦谈到慈溪南宋官窑。

[15] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第289页,文物出版社,1982年。

[16] 叶寘:《垣斋笔衡》,已佚,今转自元人陶宗仪《辍耕录》(第十四册)卷二九,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第336碟。叶寘,字子真,号垣斋,池州青阳人。

[17] 吕成龙:《修内司官窑研究取得突破性进展》,《中国文物报》1996年12月22日。

[18]《杭州老虎洞窑址考古获重要成果——发现宋元时期窑址,揭露窑炉、素烧炉等重要遗址,初步确认南宋时期窑址即修内司窑》,《中国文物报》1999年1月6日。

[19] 叶文程:《"建窑"初探》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984年。

[20] 三上次男:《陶瓷之路》,李锡经等译,文物出版社,1984年。日文原版为1972年。孟凡人、马文宽:《中国古瓷在非洲的发现》,紫禁城出版社,1987年。

[21] 叶宏明等:《南宋官窑青瓷的研究》,《中国古陶瓷研究》,科学出版社,1987年。

[22] 陈尧成等:《武昌青山窑古代白瓷研究》,《中国陶瓷》1993年第3期。陈尧成等:《武昌青山窑古代青瓷研究》,《南方文物》1994年第3期。

[23] 李家治:《中国科学技术史·陶瓷卷》第154页,科学出版社,1998年。

[24] 张福康:《龙泉窑》,《中国古代陶瓷科学成就》,上海科学技术出版社,1985年。

[25] 周仁、张福康:《关于传世"宋哥窑"烧造地点的初步研究》,《文物》1964年第6期。

[26] 郭演仪:《中国南北方青瓷》,《中国古代陶瓷科学成就》,上海科学技术出版社,1985年。

[27] 郭演仪等:《中国历代南北方青瓷的研究》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982年。郭演仪等:《宋代汝窑和耀州窑青瓷》,载《中国古陶瓷研究》,科学出版社,1987年。

[28] 李家治、郭演仪:《中国历代南北方著名白瓷》,《中国古代陶瓷科学成就》,上海科学技术出版社,1985年。

[29] 彭子成等:《用EDXRF方法研究临江诸窑场古瓷胎的化学组成分区特征》,《南方文物》1997年第4期。

[30] 周仁、李家治:《中国历代名窑陶瓷工艺的初步科学总结》,《考古学报》1960年第1期。

[31] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第318页,文物出版社,1982年。并洲杰:《赤峰缸瓦窑村辽代瓷窑调查记》,《考古》1973年第4期。

[32] 孟凡峰等:《井陉窑发掘获重大成果》,《中国文物报》1998年11月18日第一版。

[33] 福建省博物馆等:《福建建阳芦花坪窑址发掘简报》,《中国古代窑址调查发掘报告

集》，文物出版社，1984 年。

[34] 河南省文物研究所:《河南内乡大窑店瓷窑遗址的调查》，《中国古代窑址调查发掘报告集》，文物出版社，1984 年。

[35] 鹤壁市博物馆:《河南省鹤壁集瓷窑遗址 1978 年发掘简报》，《中国古代窑址调查发掘报告集》，文物出版社，1984 年。

[36] 张福康:《铁系高温瓷釉综述》，《中国古代陶瓷科学成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[37] 转引自罗宏杰:《中国古陶瓷与多元统计分析》第 93 页，中国轻工业出版社，1997 年。

[38] 李家治:《中国科学技术史 · 陶瓷卷》第 161 ~ 162 页，科学出版社，1998 年。并文献[37]，第 94 ~ 95 页。

[39] 张福康:《中国古代陶瓷的科学》第 3 页，上海人民美术出版社，2000 年。

[40] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第 254 页、第 261 页、第 262 页，文物出版社，1982 年。

[41] 周仁等:《我国陶瓷工艺技术发展过程的初步总结》，《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983 年。周仁等:《景德镇制瓷原料及胎、釉的研究》，载《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983 年。

[42] 郭演仪:《中国制瓷原料》，《中国古代陶瓷科学成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[43] 周仁等:《龙泉历代青瓷烧制工艺的科学总结》，《考古学报》1973 年第 1 期。

[44] 周世荣:《长沙古瓷窑的彩釉釉绘装饰》，《考古》1990 年第 6 期。

[45] 元蒋祈《陶记》，原出自《浮梁县志》，今转引自熊寥主编的《中国陶瓷古籍集成》第 29 页，江苏科学技术出版社，2000 年。

[46] 轻工业部陶瓷工业科学研究所:《中国的瓷器》，轻工业出版社，1983 年。

[47] 李兵等:《浅谈对河南钧瓷与后起之秀铜红釉的见解》，《中国陶瓷》1990 年第 5 期。

[48] 陈显求等:《湖田影青、枢府瓷的结构和影青瓷釉的 ESR 谱》，《中国古代陶瓷科学成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[49] 刘凯民:《钧窑釉的进一步研究》，中国科学院上海硅酸盐研究所:《中国古陶瓷研究》，科学出版社，1987 年。

[50] 陈显求等:《河南钧窑古瓷的结构特征及其两类物相分离的确证》，《硅酸盐学报》1981 年第 3 期。

[51] 冯先铭:《综论我国宋元时期"青白瓷"》，《中国古陶瓷论文集》，文物出版社，1982 年。

[52] 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》第 277 ~ 283 页，文物出版社，1982 年。

[53] 凌志达:《我国古代黑釉瓷的初步研究》，《中国古陶瓷研究》，科学出版社，1987 年。

[54] 陈显求等:《宋代建盏的科学研究》，《中国陶瓷》1983 年第 1 ~ 3 期。

[55] 陈显求等:《绚丽多姿的吉州天目釉的内在本质》，《中国古代陶瓷科学成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[56] 浙江省博物馆:《浙江两处塔基出土宋青花瓷》，《文物》1980 年第 4 期。

[57] 陈尧成等:《历代青花瓷和着色青料》，《中国古代陶瓷科学成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[58] 秦大树等:《邯郸市峰峰矿区出土的两批红绿彩瓷器》，《文物》1997 年第 10 期。

[59] 秦大树等:《论红绿彩瓷器》，《文物》1997 年第 10 期。

[60] 黄炳元:《福建南安石壁水库古窑遗址试掘情况》,《文物参考资料》1957 年第 12 期。

[61] 淄博市博物馆:《山东淄博坡地窑址的调查与试掘》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[62] 王大方:《赤峰松山区缸瓦窑遗址发掘获重大新成果》,《中国文物报》1996 年 4 月 28 日。有学者把赤峰缸瓦窑遗址的年代定得较宽,但此研究认为今发掘的 5 座馒头窑皆属金代。

[63] 刘可栋:《试论我国古代的馒头窑》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982 年。

[64] 北京大学考古系等:《河北省观台磁州窑址发掘简报》,《文物》1990 年第 4 期。

[65] 刘凤君:《山东古代烧瓷窑炉结构和装烧技术发展序列初探》,《考古》1997 年第 4 期。

[66] 刘振群:《窑炉的改进和我国古陶瓷发展的关系》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982 年。

[67] 李德金:《浅谈龙泉窑的窑炉结构》,《中国考古学研究——夏鼎先生考古五十年纪念论文集》,文物出版社,1986 年。

[68] 沈岳明等:《越窑考古又获重大突破——出土大量精美瓷器,首次发现作坊遗址和南宋龙窑遗址,发现南宋初期宫廷用瓷产地,为解决贡窑、秘色瓷等学术问题提供可靠实物资料》,《中国文物报》1999 年 1 月 20 日。

[69] 彭长林:《北流发掘一座宋代窑址》,《中国文物报》1996 年 5 月 12 日。

[70] 曾凡:《建窑考古新发现及相关问题研究》,《文物》1996 年第 8 期。

[71] 湖北省文物考古研究所:《武昌青山瓷遗址发掘简报》,《江汉考古》1991 年第 4 期。陈文学:《湖北青山窑考古的重要收获》,《中国文物报》1997 年 7 月 27 日。

[72] 朱伯谦:《试论我国古代的龙窑》,《文物》1984 年第 3 期。

[73] 杨少祥:《广东梅县市唐宋窑址》,《考古》1994 年第 3 期。

[74] 李知宴:《浙江武义发现三处古窑址》,《中国古代窑址调查发掘报告集》,文物出版社,1984 年。

[75] 刘新园等:《景德镇湖田窑各期碗类装烧工艺考》,《文物》1982 年第 5 期。

[76] 曹建文:《关于我国古代瓷器覆烧工艺的几个问题》,《文物研究》第 10 辑,1995 年。

[77] 陈文学等:《湖北武昌县青山瓷窑“火照”及相关问题》,《南方文物》1992 年第 4 期。

[78]《中国古代煤炭开发史》第 72 ~ 79 页,煤炭工业出版社,1986 年。该书统计了 16 处,在宋代或与宋代相当的时候,这些窑口大凡都曾用煤炭作过燃料。赤峰缸瓦窑用煤情况见文献[4]。

[79] 秦大树:《论磁州观台窑制瓷工艺、技术的发展》,《华夏考古》1996 年第 3 期。

## 第四节　丝织重心的南移

[1] 元费著:《蜀锦谱》,见元陶宗仪《说郛》(第一一八册)卷九八,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第 319 碟。

[2] 文物编辑委员会编:《文物考古工作三十年(1949—1979)》第 322 页“湖南省”部分,文物出版社,1979 年。

[3] 汪济英:《兰溪南宋墓出土的棉毯及其他》,《文物》1975 年第 6 期

[4] 福建省博物馆:《福州市北郊南宋墓清理简报》,《文物》1977 年第 7 期。

[5] 镇江市博物馆等:《江苏金坛南宋周瑀墓发掘简报》,《文物》1977 年第 7 期。

[6] 黑龙江省文物考古研究所:《黑龙江阿城巨源金代齐国王墓发掘简报》,《文物》1989 年第 10 期。

[7] 魏光焘:《蚕桑粹编》(光绪二十六年)。

[8] 陈旉:《农书》第21页，中华书局，1956年版。

[9]《士农必用》，作者不详，元司农司《农桑辑要》、元王祯《农书》等皆有引述。《农桑辑要》成于至元十年（1273年），即元立国后第三年和南宋亡（1279年）之前六年；故《士农必用》的成书年代当为宋、金时期，下限是元初。此书当时在黄河流域相当流行，原书已佚，今转引自徐光启《农政全书》卷三二，第895页，上海古籍出版社，1979年。

[10] 秦观:《蚕书》，转引自元王祯《农书》（中华书局，1956年版）卷二〇“蚕瓮”条，第461页。清《格致镜原》（“四库”本）卷四三所引秦观《蚕书》与此基本相同。但文渊阁《钦定四库全书》所收秦观《蚕书》不见此盐腌杀蛹的内容。陈旉《农书》所引盐浥杀茧法，从文字到内容，皆与本书所引基本一致，但其未说出处。

[11] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第158页，科学出版社，2002年。

[12] 清杨屾:《豳风广义》，农业出版社，1956年。中国古农书丛刊本。书前有郑辟疆《校注〈豳风广义〉序》。

[13] 黄振华等:《番汉合时掌中珠》第53页，宁夏人民出版社，1989年。

[14] 宋史乐:《太平寰宇记》第七册，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第224碟。

[15] 陈炳应:《中国少数民族科学技术史丛书·纺织卷》第691页，广西科学技术出版社，1996年。

[16] 王克孝:《西夏对我国书籍生产和印刷术的突出贡献》，《民族研究》1996年第4期。

[17] 牛达生等:《从贺兰拜寺沟方塔西夏文献纸样分析看西夏造纸业状况》，《中国历史博物馆馆刊》1999年第2期。

[18] 宋方勺:《泊宅编》，唐宋史料笔记丛刊，中华书局，1983年。有关“木棉”之事，见于三卷本的卷中，十卷本的卷三，文字基本相同。

[19] 矩斋:《古尺考》，《文物参考资料》1957年第3期。其中载有7枚宋尺，长度介于0.281~0.329厘米间，平均约0.31厘米。

[20]《诸蕃志》（第二册）卷下，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

[21] 容观琼:《关于我国南方棉纺织历史研究的一些问题》，《文物》1979年第8期。

[22] 史炤:《资治通鉴释文》。

[23] 林忠干等:《福建古代纺织史略》，《丝绸史研究》1986年第1期。

[24] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》，科学出版社，1984年。脚踏纺车见第180页，罗机子见第224页。

[25] 高汉玉等:《西夏陵区一〇八号墓出土的纺织品》，《文物》1978年第8期。

[26] 赵承泽:《谈福州、金坛出土的南宋织品和当时的纺织工艺》，《文物》1977年第7期。

[27] 杨明等:《江西德安南宋周氏墓纺织品残片种类与工艺》，《南方文物》1998年第4期。本文所述仅仅是纺织品残片，不包括成衣。

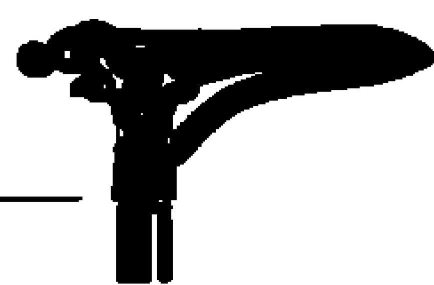
[28] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第303页，科学出版社，2002年。

[29]《中国大百科全书·纺织卷》第353~355页，夏正兴撰“宋代纺织文物”。中国大百科全书出版社，1984年。

[30] 沈莲玉:《中国历代纹织物组织结构织造工艺及织物机的进展》，中国纺织大学博士学位论文，1995年，上海。

[31] 赵丰:《织物的类型与组织元》，《中国纺织大学学报》1996年第3期，上海。

[32] 高汉玉:《织纹与结构元》。此文是高汉玉长篇讲稿的一部分；1999年5月，承其相赠而得拜读。





［33］陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》第358～366页，科学出版社，1984年。

［34］文物编辑委员会编:《文物考古工作三十年（1949—1979）》第95页“辽宁省”部分，文物出版社，1979年。

［35］《宋史》卷一五三“舆服志五”:“景德三年诏：通犀金玉带，除官品合服及恩赐外，余人不得服用。大中祥符五年诏曰：方团金带，优宠辅臣。今文武庶官，及伎术之流，率以金银做效……自今除恩赐外，悉禁之。”由此也可见宋代服饰用金之盛。《续资治通鉴长编》卷一一九仁宗景祐三年八月己酉。其中谈到了官员宫室、服饰的规定，皆未明确提到不许服金之事。

［36］《老学庵笔记》第一册卷二第11页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第317碟。

［37］《鸡肋篇》（第一册）卷上第46页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第336碟。

［38］陈娟娟:《宋代的缂丝艺术》，《文物天地》1994年第4期。

［39］陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》第401～402页，科学出版社，1984年。

［40］《仪礼·丧服》郑注云:“布，八十缕为升。”当时幅宽规定为二尺二寸，每尺可粗略地依23厘米计。

［41］陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》第274页，科学出版社，1984年。

［42］福建省博物馆:《福州南宋黄昇墓》，文物出版社，1982年。

［43］《钦定古今图书集成》“方舆汇编·职方典”卷六八一引《苏州纺织品名目》，见第十八函，第一一五册。

［44］陈娟娟:《故宫博物院织绣馆》，《文物》1960年第1期。

［45］宋朱辅:《溪蛮丛笑》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

［46］《重修政和经史证类备用本草》卷四“柔铁”引苏颂《图经本草》。

［47］陈维稷主编:《中国纺织科学技术史（古代部分）》第265～266页，科学出版社，1984年。

## 第五节　机械技术的发展

［1］刘一止:《苕溪集》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第408碟。洪咨夔:《平斋文集》卷一，《四部丛刊续篇·集部》。

［2］耶律楚材:《湛然居士文集》卷六“西域河中十咏”，《四部丛刊初编缩本》。清王士祯:《池北偶谈》（第八册）卷二三“风磨风扇”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

［3］李文信:《辽阳发现的三座壁画古墓》，《文物参考资料》1955年第5期第33页，插图24，一黑帻白衣人双手高举一风轮状物，似为玩具风车。

［4］惠孝同:《李嵩货郎图》，《文物参考资料》1958年第6期。

［5］文渊阁《钦定四库全书》抄本第8册，武汉大学出版社电子版第316碟。

［6］梅尧臣:《宛陵先生集》卷四，《四部丛刊初编缩本》189－39。

［7］《于湖居士文集》卷五，《四部丛刊初编缩本》，上海商务印书馆缩印慈谿李氏藏宋本。书前有“嘉泰元年（1201年）”序。

[8]《于湖居士文集》卷四,《四部丛刊初编缩本》。

[9] 田艺蘅:《留青日札》卷一八,《续修四库全书》1129 册。

[10] 王安石《元丰行示德逢》:"湖阴先生坐草室，看踏沟车望秋实。……倒持龙骨掛屋敖，买酒浇客追前劳。"王安石《后元丰行》:"龙骨长干挂梁梠，鲥鱼出网蔽洲渚。"见《王荆公诗注》卷一，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 405 碟。

[11]《无锡道中赋水车》,《东坡全集》卷六，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 405 碟。《春晚即事》,《剑南诗稿》(第三十八册) 卷七〇第 22 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 411 碟。

[12]《梅溪王先生文集·后集》卷二〇,《四部丛刊初编缩本》第 240 册，第 408 页。

[13] 李崇州:《中国古代各类灌溉机械的发明和发展》,《农业考古》1983 年第 1 期。

[14]《集注分类东坡诗集》卷一八。见《四部丛刊初编缩本》。

[15] 陆游:《入蜀记》卷一，乾道六年六月八日。"四库"本。

[16]《临川先生文集》卷八。《四部丛刊初编缩本》第 199 册，上海商务印书馆。

[17] 王祯:《农书》卷一八"农器图谱·灌溉门":"翻车，今人谓龙骨车。"王祯且认为马钧和毕岚所作"翻车"皆系龙骨车。

[18] 徐光启:《农政全书》卷一七"水利·灌溉图谱":"翻车，今人谓龙骨车也。"其亦援引王祯之说，认为马钧和毕岚所作之"翻车"皆系龙骨车。

[19] 刘仙洲:《中国古代农业机械发明史》第 51 页，科学出版社，1963 年。

[20] 陆敬严、华觉明主编:《中国科学技术史·机械卷》第 78 页，科学出版社，2000 年。

[21] 刘仙洲:《中国机械工程发明史》，科学出版社，1962 年。

[22] 郭可谦等:《中国机械发展史》第 9 页，机械工程师进修大学，1987 年。

[23] 马晋封:《苏汉臣货郎图》,《故宫文物月刊》第 1 卷第 11 期，1984 年，台湾。

[24] 河南省文化局文物工作队:《河南方城盐店庄村宋墓》,《文物参考资料》1958 年第 11 期。墓砖上有"宋宣和改元十一月"等字。

[25] 北京市文物管理处:《北京通县金代墓发掘简报》,《文物》1977 年第 11 期。

[26] 湖南省文物管理委员会:《湖南长沙纸园冲工地古墓清理小结》,《考古通讯》1957 年第 5 期。

[27] 王家祐:《四川宋墓札记》,《考古》1959 年第 8 期。

[28]《四部丛刊初编缩本》，第 050 册，第 171 页。

[29] 见明"正德"刊本。"四库全书"卷一〇所载两种砲为:"行车砲"、"轩车砲";卷一二载有 16 种砲，无"手砲"。

[30] 文莹:《玉壶清话》,"笔记小说大观"本。

[31] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957 年第 3 期。

[32]《宋史·兵志十一》亦作李定，朱弁《曲洧旧闻》卷九等又作李宏。

[33] 戴念祖等:《中国古代的风箱及其演变》,《自然科学史研究》1988 年第 2 期。

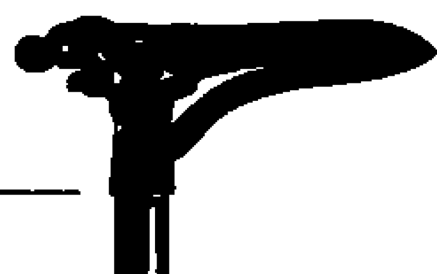
[34] 张荫麟:《宋卢道隆吴德仁记里鼓车之造法》,《清华学报》第 2 卷第 2 期，1925 年。

[35] 王振铎:《指南车记里鼓车之考证及模制》，原载《史学集刊》1937 年第 3 期；今见王振铎:《科技考古论丛》，文物出版社，1989 年。

[36] 刘仙洲:《中国机械工程发明史》第 94 ~ 98 页，科学出版社，1962 年。

[37]《钦定古今图书集成·考工典》卷一七五"车舆部"第 14 页，引杨维桢《记里鼓车赋》云:"虚轮晕轸，横辕倚貌。平厢层构，低高间施。木镌象以正立，手潜奋以有持。列鼓镯于上下，各叩击以司时。"

[38] 王振铎:《燕肃指南车造法补证》,《文物》1984 年第 6 期。





[39] 刘仙洲:《中国在计时器方面的发明》,《天文学报》第4卷第2期,1956年。

[40] 王振铎:《宋代水运仪象台的复原》,《文物参考资料》1958年第9期。

[41] 这段资料有两个地方所记互有出入。一是《宋会要辑稿》本身记述的数字互有出入,其云天禧末年船只岁减后的总数为2916艘(3337-421),而当年各州船只相加之数却为2915艘,这在正文已经看到。二是《宋会要辑稿》与《宋史》两书所记至道末船只数稍有不符,《宋史》卷一七五"漕运"载为:"诸州岁造运船。至道末三千二百三十七艘,天禧末减四百二十一。"

[42]《宋会要辑稿》作处州,《文献通考》卷二五"漕运"作虔州。

[43] 王冠倬:《从文物资料看我国古代造船技术的发展》,《中国历史博物馆馆刊》总第5辑,1983年。

[44] 王冠倬:《中国古船》第28~38页,海洋出版社,1991年。

[45] 林士民:《宁波东门码头遗址发掘报告》,《浙江省文物考古学刊》,文物出版社,1981年。

[46] 陈振端:《泉州湾出土宋代海船木材鉴定》,《海交史研究》总第4期,1982年。

[47] 泉州湾宋代海船发掘报告编写组:《泉州湾宋代海船发掘简报》,《文物》1975年第10期。

[48] 江苏省文物工作队:《扬州施桥发现了古代木船》,《文物》1961年第6期。

[49] 倪文俊:《嘉定封浜宋船发掘简报》,《文物》1979年第12期。

[50] 天津文物管理处:《天津考古》,天津人民出版社,1982年。《天津静海县发现宋代河船》,《天津文物简讯》1978年第9期。

[51] 席龙飞:《中国造船史》第163~165页,湖北教育出版社,2000年。

[52] 周世德:《雕虫集·试论我国传统的船舶设计》,地震出版社,1994年。

[53] 联合试掘组:《泉州法石古船试掘简报和初步探讨》,《自然科学史研究》1983年第2期。

[54] 席龙飞:《桨舵考》,《武汉水运工程学院学报》1981年第1期。

[55] 辛元欧:《中国古代船舶人力推进和操纵机具的发展》,《船史研究》1985年第1期。

[56] 磁县文化馆:《河北磁县南开河村元代木船发掘简报》,《考古》1978年第6期。

[57] 须藤利一编:《船》,法政大学出版局,1968年。转引自文献[49]。

[58] 周世德:《中国古船桨系考略》,《雕虫集》第18页脚注,地震出版社,1994年。

[59] 席龙飞:《对宁波古船的研究》,《武汉水运工程学院学报》1981年第2期。

[60] 席龙飞等:《中国古船的减摇龙骨》,《自然科学史研究》1984年第4期。

[61] 吉林市博物馆:《吉林市郊发现的金代窖藏文物》,《文物》1982年第1期。

[62] 席龙飞等:《中国科学技术史·交通卷》第99页,科学出版社,2004年。

## 第六节 造纸技术趋于成熟

[1] 南宋袁说友:《笺纸谱》,谢元鲁校释。《巴蜀丛书》第一辑,巴蜀书社,1988年。

[2]《书史》第41页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第312碟。

[3] 宋陈槱:《负暄野录》(一册),文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第318碟。

[4] 施宿等:《(嘉泰)会稽志》(第十六册)卷十七(第50页)"草部·纸"条,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第226碟

[5] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第91页、第92页,文物出版社,1979年。

[6] 孙宝明等:《中国造纸植物原料志》第157页，轻工业出版社，1959年。

[7] 荣元恺:《草浆纸史溯古今》,《纸史研究》(十四)，1986年。

[8] 宁夏回族自治区文物考古研究所、宁夏贺兰县文化局:《宁夏贺兰县拜寺沟方塔清理简报》,《文物》1994年第9期。

[9] 牛达生、王菊华:《从贺兰拜寺沟方塔西夏文献纸样分析看西夏造纸业状况》,《中国历史博物馆馆刊》1999年第2期。

[10] 转引自王克孝:《西夏对我国书籍生产和印刷术的突出贡献》,《民族研究》1996年第4期。

[11] 向达译:《斯坦因西域考古记》，上海书店、中华书局，1987年。

[12] 陈开俊等:《马可·波罗游记》第二十四章，福建科学技术出版社，1981年。

[13] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第94页，文物出版社，1979年。

[14] 荣元恺:《纸药——发明造纸术中决定性的关键》,《纸史研究》(六)，1989年。

[15] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第209页，文物出版社，1979年。

[16] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第104页，文物出版社，1979年。

[17] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。

[18] 程棨:《三柳轩杂识》，载《说郛》(第三十二册) 卷二四下“传讲杂记”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[19] 文物保护研究所等:《山西应县佛宫寺木塔内发现辽代珍贵文物》,《文物》1989年第6期。

[20] 元费著:《蜀笺谱》，见元陶宗仪《说郛》(第一一八册) 卷九八。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第319碟。

[21] 陈大川:《中国造纸术盛衰史》第111~112页，中外出版社，台北，1979年。

[22] 潘吉星:《中国造纸技术史稿》第96页，文物出版社，1979年。

[23] 戴家璋主编:《中国造纸技术简史》第125页，中国轻工业出版社，1994年。

[24]《格致镜原》(第十六册) 卷三七“文具类·纸”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。

[25]《法帖谱系》卷上第3页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第244碟。

[26]《缀耕录》(第七册) 卷一五 (第1页)，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第336碟。

[27]《续修四库全书》第1130册，上海古籍出版社，2002年。

[28]《丛书集成初编》第1559册，商务印书馆，1937年。

[29]《宛陵集》(第十册) 卷二七，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第404碟。

[30]《后山谈丛》，见文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第335碟。

### 第七节　雕版印刷的发展和活字印刷的发明

[1] 李致忠:《宋代的刻书机构》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[2] 宿白:《唐宋时期的雕版印刷》，文物出版社，1999年。

[3] 叶得辉:《书林夜话》(1920年) 卷二，第36~42页，古籍出版社，1955年。

[4] 潘铭桑:《中国印刷版权的起源》,《雕版印刷源流》，印刷工业出版社，1990年。

[5] 罗树宝:《中国古代印刷史》第116~117页，印刷工业出版社，1993年。

[6] 蔡澄:《鸡窗丛话》,《丛书集成续编》90-1005，上海书店，1994年。

[7] 国家文物局文物保护科学技术研究所等:《山西应县佛宫寺木塔内发现辽代珍贵文物》,《文物》1982年第6期。阎文儒等:《山西应县佛宫寺释迦塔发现的"契丹藏"和辽代刻经》，均见《文物》1982年第6期。

[8] 陈国莹:《丰润天宫寺塔保护工程及发现的重要辽代文物》,《文物春秋》1989年创刊号。

[9] 毕素娟:《论辽朝大藏经的雕印》,《中国历史博物馆刊》第九辑。

[10] 毕素娟:《重视辉煌的辽代雕版印刷品》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[11] 徐庄:《略谈西夏雕版印刷在中国出版史中的地位》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[12] 戈尔芭切娃、克恰诺夫:《苏联科学院亚洲民族研究所藏西夏文写本和刊本现已考定书目》，莫斯科东方文献出版社，1963年。中国社会科学院民族研究所历史研究室资料组编译。转引自文献[11]。

[13] 孟列夫:《黑城出土汉文遗书叙录》，前苏联科学出版社，1984年。王克索译，转引自文献[11]。

[14] 史金波:《西夏佛教史略》，宁夏人民出版社，1988年。

[15] 宁夏文管会等:《宁夏贺兰县宏佛塔清理简报》,《文物》1991年第8期。

[16]《蜀中广记》卷六七，文渊阁《钦定四库全书》，台湾商务印书馆版592-120。

[17] 金柏东:《温州发现"蚕母"套色版画》,《文物》1995年第5期。

[18] 刘最长等:《西安碑林发现女真文书，南宋拓全幅集王"圣教序"及版画》,《文物》1979年第5期。

[19] 方晓阳:《饾版印刷术之研究》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[20] 柳毅:《中国的印刷术》第168~169页，科学普及出版社，1987年。

[21] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第431页，科学出版社，1998年。

[22] 祝慈寿:《中国古代工业史》第508页，学林出版社，1988年。

[23] 张秀民:《中国印刷史》第664页、第668页，人民出版社，1989年。

[24] 燕义权:《铜版与套色版印刷的发明与发展》，载《中国科学技术发明和科学技术人物论集》第208页，生活·读书·新知三联书店，1955年。

[25] 张秀琦:《宋代纸币及其现存的印版》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[26] 韩家梁:《东至县发现宋代"关子"钞版和"关子库印"》,《安徽史志通讯》1984年第4期。

[27] 李国梁:《东至"关子钞版"的有关问题》,《文物研究》总第5期，1989年。

[28] 张秀民:《中国印刷史》第270页，人民出版社，1989年。

[29] 张季琦:《金朝纸币——"交钞"、"宝券"及其他》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[30] 孙启康:《毕昇墓碑鉴定及相关问题考证》,《中国印刷》第42期，1993年11月。张秀民:《英山发现的是活字印刷家毕昇的墓碑吗?》《中国印刷》第42期，1993年11月。孙启康:《答毕昇墓碑质疑》,《中国印刷》第44期，1994年4月。张秀民:《对英山毕昇墓碑的再商榷》,《中国印刷》第44期，1994年4月。

[31] 黄宽重:《南宋活字印刷史料及其相关问题》，原载《国立中央研究院历史语言研究所集刊》第55本第一分册，1984年。今转引自《中研院历史语言研究所集刊论文类编》“历史编·宋辽金元（三）”，中华书局，2009年。《活字印刷的发明和早期发展》，《南宋军政与文献探索》，台湾新文丰出版公司，1990年。

[32]《文忠集》（第七十六册）卷一九八（第6页）“劄子十·程元成给事（绍熙四年）”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第410碟。

[33] 金柏东:《早期活字印刷术的实物见证——温州市白象塔出土北宋佛经残页介绍》，《文物》1987年第5期。

[34] 刘云:《对“早期活字印刷术的实物见证”一文的商榷》，《文物》1988年第10期。

[35] 牛达生:《西夏文佛经“吉祥遍至口和本续”的学术价值》，《文物》1994年第9期。

[36] 牛达生:《我国最早的木活字印刷品——西夏文佛经“吉祥遍至口和本续”》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[37] 李进增等:《宁夏发现迄今世界最早的木活字版印本，“吉祥遍至口和本续”通过鉴定》，《中国文物报》1996年12月1日。

[38] 陈悦新:《宁夏回族自治区文物考古五十年成就》，《新中国考古五十年》第474页，文物出版社，1999年。

[39]] 牛达生:《西夏活字印本的发现及其活字印刷技术的研究》，《历史深处的民族科技之光》（第六届中国少数民族科技史暨西夏科技史国际会议文集），宁夏人民出版社，2003年。

[40] 史金波等:《中国活字印刷术的发明及其早期传播——西夏和回鹘活字印刷研究》第58页、第41页、第49页等，社会科学文献出版社，2000年。

[41] 孙寿龄:《西夏泥活字版佛经》，《中国文物报》1994年3月27日第3版。

[42] 牛达生:《西夏文泥活字版印本〈维摩诘所说经〉及其学术价值》，《中国印刷》2000年第12期。

[43] 史金波:《黑水城出土活字版汉文历书考》，《文物》2001年第10期。

[44] 李亚东:《中国制墨技术的源流》，《科技史文集》第15集，上海科技出版社，1989年。

[45] 晁季一:《墨经》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第315碟。

[46] 张邦基:《墨庄漫录》卷六（第三册）第9页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第317碟。

[47] 何薳:《春渚纪闻》（第四册）卷八。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第317碟。

[48] 陈晶等:《江苏武进村前南宋墓清理纪要》，《考古》1986年第3期。关于叶茂实的制墨年代，此文曾有考证。

[49] 合肥市文物管理处:《合肥北宋马绍庭夫妻合葬墓》，《文物》1991年第3期。

[50] 胡东波:《合肥出土宋墨考》，《文物》1991年第3期。此文说马绍庭夫妻合葬墓出土有两块墨。

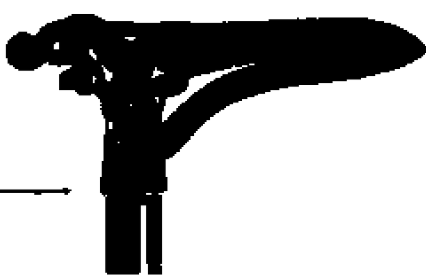
[51]《丛书集成初编》第1552册。

[52] 杨慎:《升庵外集》卷一九“用器·文具”，桂湖藏版，道光甲辰影明版重刻。

[53] 李孝美:《墨谱法式》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第315碟。

## 第八节 火药技术的进步和初级火器的出现

[1] 潘吉星:《中国火箭技术史稿》第39页，科学出版社，1987年。





[2]《玉海》卷一五〇，文渊阁《钦定四库全书》，台湾商务印书馆版946-859。

[3] 丘濬：《大学衍义补》（第五十一册）卷一二二第11页“严武备·器械之利下”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第303碟。

[4] 王得臣：《麈史》卷一，文渊阁《钦定四库全书》，台湾商务印书馆版862-599。

[5]《武经总要》“前集”（第八册）卷一三第3页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[6]《筹海图编》卷一二：“火箭，以小瓢盛油冠矢端，射城楼、橹板木上，瓢败油散，顺烧，矢镞内中射油散处，火立燃，复以油瓢翼之，则楼橹尽焚。”类似的记载并见《神机制敌太白阴经》卷四、《通典》卷一六〇。

[7]《武经总要》“前集”（第七册）卷一二，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。“鞭箭”、“放火药箭”，第61页；“蒺藜火球”、“竹火鸡”，第62页；“霹雳球”，第69页。

[8] 赵与衮：《辛巳泣蕲录》，《四库全书存目丛书》史45-62，齐鲁书社，1996年。

[9] 王育成：《中国古砲考索》，《中国史研究》，1993年第4期。

[10] 赵匡华：《火药的发明与炼丹术》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[11] 成东、钟少异：《中国古代兵器图集》，解放军出版社，1990年。

[12] 赵光林、张宁：《金代瓷器初步探索》，《考古》，1979年第5期。

[13] 钟少异：《铳、炮、枪等火器名称的由来和演变》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[14]《武经总要》“前集”（第七册）卷一二第43页“单梢砲”条，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[15] 冯家昇：《火药的发明和西传》第22页载：霹雳火球，“以火锥烙球，声如霹雳，是爆炸性火器的先声”，华东人民出版社，1954年。

[16] 叶英：《爆炸性火器的起源》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[17] 杨硕、丁儆：《古代火药配方的试验研究》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[18]《续资治通鉴长编拾补》卷五三，《续修四库全书》349-554，上海古籍出版社，2002年。

[19] 杨万里：《诚斋集》（第十三册）卷四四“海鰌赋”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第411碟。

[20] 元好问：《续夷坚志》卷二，《笔记小说大观》第十册，江苏广陵古籍刻印社，1984年。

[21] 赵与衮：《辛巳泣蕲录》，《四库全书存目丛书》史45-82，齐鲁书社，1996年。

[22] 李曾伯：《可斋续藁·后》（第二十册）卷五第52页。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第413碟。

[23] 陈规：《守城录》卷四第9页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[24] 周密：《武林旧事》（第一册）卷二，“御教”，“元夕”。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

[25] 郑振铎编：《域外所藏中国古典画集·西域画》26~29“降魔图”，上海出版公司影印本，1947~1948年。

[26] 李约瑟:《开封府的枪》,《李约瑟文集》(1944~1984年) 第586~587页, 辽宁科学技术出版社, 1986年。

[27] 钟少异:《早期管形火器研究》,《中国古代火药火器史研究》, 中国社会科学出版社, 1995年。

[28] 杨泓:《降魔变绢画中的喷火兵器——探寻古代管形射击火器发明时间的新线索》,《文物天地》1986年第4期。并见文献 [13]。

[29]《宋史》卷四七七"李全传",《二十五史》1568. 3 (6740. 3), 上海古籍出版社等, 1986年。

[30] 周密:《齐东野语》卷九, 文渊阁《钦定四库全书》865-724, 台湾商务印书馆。

[31]《筹海图编》(第十册) 卷一三第68页, 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第235碟。

[32] 孟元老:《东京梦华录》(第二册) 卷七"驾登宝津楼诸军呈百戏", 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第236碟。

[33] 潘吉星:《中国火箭技术史稿》第17页, 科学出版社, 1987年。

[34] 郭正谊:《中国烟火的发展及火箭技术的起源》,《中国古代火药火器史研究》, 中国社会科学出版社, 1995年。

[35] 张子高:《中国化学史稿 (古代之部)》第129页, 科学出版社, 1964年。

[36] 周密:《齐东野语》(第五册) 卷一一 (第20页), 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第317碟。

[37] 潘吉星:《中国火箭技术史稿》第51页、第55页、第59~62页, 科学出版社, 1987年。

[38] 南宋周应合:《景定建康志》(第二十三册) 卷三九第21页至第23页"武卫志二·军器", 文渊阁《钦定四库全书》抄本, 武汉大学出版社电子版第226碟。

[39] 丁儆:《中国古代发明火药和发现冲击波的历史》,《中国古代火药火器史研究》, 中国社会科学出版社, 1995年。

[40] 杨硕、丁儆:《古代火药配方的试验研究》,《中国古代火药火器史研究》, 中国社会科学出版社, 1995年。实验时, 狼毒、黄丹、砒霜缺, 油类是以豆油代替的。

[41] 袁成才、松全才:《中国古代火药史刍议》,《中国古代火药火器史研究》, 中国社会科学出版社, 1995年。

## 第九节 指南针技术的发展

[1] 王振铎:《中国古代磁针的发明和航海罗经的创造》,《文物》1978年第3期。并见王振铎《科技考古论丛》, 文物出版社, 1989年。

[2] 王振铎:《司南指南针与罗经盘——中国古代有关静磁学知识之发现及发明 (中)》, 原载《中国考古学报》第4册, 1949年; 今见王振铎《科技考古论丛》, 文物出版社, 1989年。

[3]《重修政和经史证类备用本草》卷四"磁石"条亦引。

[4] 陈元靓:《事林广记》癸集卷一〇"神仙幻术", 上海古籍出版社, 1990年影印本。1960年中华书局影印本无木刻指南龟和指南鱼两段文字。

[5] 吕作昕、吕黎阳:《中国古代磁性指南器源流与发展史新探》, 第二届中国少数民族科技史国际学术讨论会论文, 1994年, 延吉。

[6]《论物质的本性》一书已难看到。这段关于磁针的论述, 各家所引却略有差别, 文献 [11] 亦曾引述。但李约瑟博士认为,《论物质的本性》一书并未提到磁针的装置方式, 甚至未



提到它是水针还是旱针，明确提到以麦秆来装置水针之事始见于1205年法国学者德·普洛文的《经书》(Guyit de proins，La bible)。

[7] 王振铎:《司南指南针与罗经盘——中国古代有关静磁学知识之发现及发明（下）》原载《中国考古学报》第5册，1951年；并见王振铎《科技考古论丛》，文物出版社，1989年。

[8] 宋曾三异:《因话录》:（1）《说郛》卷一九，涵芬楼本第一函。（2）《说郛》（第三十册）卷二三上（第14页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[9] 明李豫亨:《青乌绪言》云:“以针浮水定子午，俗称水罗经……以针入盘中，贴纸方位其上，不拘何方，子午必向南北，谓之旱罗经。”

[10] 陈定荣、徐建昌:《江西临川宋墓》,《考古》1988年第4期。

[11] 闻人军:《南宋堪舆旱罗盘的发明之发现》,《考古》1990年第12期。

[12] 李豫亨:《推篷寤语》卷七,《续修四库全书》1128-398。

[13] 转引自文献[1][11]。

[14] 吴自牧:《梦粱录》（第四册）卷一二（第17页）“江海船舰”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟。

## 第十节　髹饰技术的发展

[1] 陈晶:《记江苏武进新出土的南宋珍贵漆器》,《文物》1979年3期。

[2] 陈晶等:《江苏武进村前南宋墓清理纪要》,《考古》1986年3期。

[3] 矢岛恭介:《湖州并浙江诸州の铭ある南宋时代の镜に就て》,《考古学杂誌》三四卷第十二号，昭和二十二年。

[4] 顾炎武:《金石文字记》（第三册）卷三（第12~13页）“唐·开业寺碑”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第245碟。

[5] 陈晶:《常州北环新村宋墓出土的漆器》,《考古》1984年8期。

[6] 罗宗真:《淮安宋墓出土的漆器》,《文物》1963年5期。

[7] 蒋缵初:《谈杭州老和山宋墓出土的漆器》,《文物》1957年7期。

[8] 湖北省文化局文物工作队:《武汉市十里铺北宋墓出土漆器等文物》,《文物》1966年5期。

[9] 辽宁省博物馆等:《法库叶茂台辽墓记略》,《文物》1975年12期。

[10] 浙江博物馆:《浙江瑞安慧光塔出土文物》,《文物》1973年第1期。

[11] 杨伯达:《明朱檀墓出土漆器补记》,《文物》1980年第6期。依文献[10]，慧光塔经函和舍利函，都是描金堆漆的，皆未提到沥粉之事。文献[11]认为，舍利函合描金、堆漆、沥粉三艺于一器，今从杨伯达说。

[12] 包文灿:《江苏沙洲出土包银竹胎漆碗》,《文物》1981年8期。文献[8]认为沙洲出土的包银碗是为竹胎，文献[3]更正为多层薄板胎，碗内衬银。

[13] 王世襄:《中国古代漆工艺》,《中国美术全集》“工艺美术篇8·漆器”，文物出版社，1989年。

[14]《髹饰录解说》，文物出版社，1983年。黄成原文，以及杨明注皆见第123页。

[15] 明曹昭:《格古要论》卷下“剔红”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[16] 冯汉骥:《前蜀王建墓出土的平脱漆器及银铅胎漆器》,《文物》1961年第11期。

[17] 梅原末治:《支那汉代纪年铭漆器图说》第49页、第50页，桑名文星堂，昭和十八年。

[18] 连劭名:《三国吴朱然墓出土漆器题铭中的“蜀郡作牢”》,《文物研究》总第2期,1986年12月。

[19] 宋程大昌:《演繁露续集》(第七册)卷五“桐油”(第12页),文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第316碟。

[20]《髹饰录解说》,文物出版社,1983年。杨明注,见第169页。

[21] 沈福文:《漆器工艺技术资料简要》,《文物参考资料》1957年第7期。

[22]《重修政和经史证类备用本草》卷四“铁精”条引梁陶弘景云。

[23]《本草纲目》卷八“铁浆·集解”引唐陈藏器《本草拾遗》。

[24] 明高濂:《遵生八笺》(第十三册)卷一四(第73页)“燕闲清赏笺上·论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第318碟。

[25] 明张应文:《清秘藏》卷上“论雕刻”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第318碟。

[26] 谢堃:《金玉琐碎》,《美术丛书》三集第八辑。

[27] 邓之诚:《骨董续记》卷三,《民国丛书》5-84,上海书局,1996年。

[28] 镇江市博物馆等:《金坛南宋周瑀墓》,《考古学报》1977年第1期。

[29] 和惠:《宋代团扇和雕漆扇柄》,《文物》1977年第7期。

[30] 陈增弼等:《介绍大同金代剔犀奁兼谈宋金剔犀工艺》,《文物》1982年第12期。

[31] 四川省文物管理委员会等:《南宋虞公著夫妇合葬墓》,《考古学报》1985年第3期。

[32] 明曹昭:《格古要论》卷下“古漆器论”,文渊阁《钦定四库全书》,台湾商务印书馆版871-108。

[33] 吴自牧:《梦粱录》卷一三“铺席”,《丛书集成初编》3220-114。耐得翁:《都城纪胜》“铺席”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第236碟。

[34] 此图藏台北故宫博物院,《故宫文物》月刊总31期第76页载有坐墩部分特写。

[35] 周密:《癸辛杂识》“别集卷下(第37页)·钿屏十事”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第336碟。“钿屏十事”原载:“王楠,字茂悦,号会溪,初知郴州,就除福建市舶。其归也,为螺钿卓(桌)面屏风十副,图贾相盛事十项,各系之以赞以献之贾。大喜,每燕客必设于堂焉。”“十事”的标题为:度宗即位、南郊庆成、鄂渚守城、月峡断桥、鹿矶奏捷、草坪决战、安南献象、建献嘉禾、川献嘉禾、淮擒孛花。

[36] 清顾广圻:《思适斋集》卷五“漆沙砚记”。原版为道光己酉(1849年)十月上海徐氏校刊。《续修四库全书》1491-50。

[37] 清顾广圻:《思适斋集》卷一七“砚铭九首·漆沙砚铭”。《续修四库全书》1491-143。

## 第十一节 玻璃技术

[1] 秦明智等:《灵台舍利石棺》,《文物》1983年2期。

[2] 河北定县博物馆:《河北定县发现两座宋代塔基》,《文物》1972年8期。此“玻璃”,原报道皆写作“琉璃”。

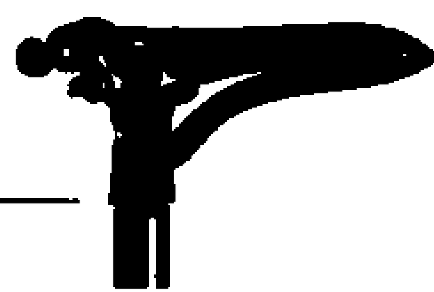
[3] 金戈:《密县北宋塔基中的三彩琉璃塔和其它文物》,《文物》1972年10期。

[4] 浙江省博物馆:《浙江瑞安北宋慧光塔出土文物》,《文物》1973年第1期。

[5] 天津历史博物馆考古队:《天津蓟县独乐寺塔》,《考古学报》1989年第1期。

[6] 安家瑶:《试论中国近年出土的伊斯兰早期玻璃器》《考古》1990年12期。

[7] 朝阳地区博物馆:《辽宁朝阳姑营子辽耿氏墓发掘报告》,《考古学集刊》(3),



1983 年。

［8］内蒙古自治区文物考古研究所:《辽陈国公主墓》第 56 页，文物出版社，1993 年。

［9］《无产阶级文化大革命期间文物展览简介・无为宋塔下出土的文物》，《文物》1972 年第 1 期。

［10］周密:《武林旧事》（第一册）卷二，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 236 碟。

［11］矩斋:《古尺考》，《文物参考资料》1957 年第 3 期。

［12］宋蔡绦:《铁围山丛谈》（第二册）卷六第 5 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟。

［13］《镇江发现宋代炼制琉璃遗迹，出土我国最早的琉璃象棋子》，《中国文物报》1996 年 1 月 7 日第一版。

［14］安家瑶:《中国的早期(西汉—北宋)玻璃器皿》，载《中国古玻璃研究(1984 年北京国际玻璃学术讨论会论文集)》，中国建筑工业出版社，1986 年。

［15］史美光等:《一批中国古代玻璃的研究》，《中国古玻璃研究(1984 年北京国际玻璃学术讨论会论文集)》，中国建筑工业出版社，1986 年。

［16］安家瑶:《试探中国近年出土的伊斯兰早期玻璃器》，《考古》1990 年第 12 期。

［17］宋程大昌:《演繁露》（第一册）卷三“流離”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 316 碟。

［18］宋赵汝适:《诸蕃志》卷下“志物・琉璃”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 236 碟。

［19］宋杜绾:《云林石谱》卷中“西京洛河”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 315 碟，卷中第 6 页。

［20］宋李诫:《营造法式》（第四册）卷一五“窑作制度・瑠璃瓦等”（第 11 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 244 碟。

［21］张福康:《中国古琉璃的研究》，《硅酸盐学报》1983 年第 1 期。

［22］建筑材料研究院等:《中国早期玻璃器检验报告》，《考古学报》1984 年第 4 期。

［23］《铅汞甲庚至宝集成》卷四，《道藏》第 595 册，涵芬楼影印本。

［24］祝亚平:《道家文化与科学》第 284 ~ 290 页，中国科学技术大学出版社，1995 年。

［25］陈国符:《道藏源流续考》第 334 页、第 380 页，明文书局，1983 年。

［26］宋徐竞:《宣和奉使高丽图经》第 4 册，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 236 碟。





# 第七章

## 元代手工业技术的艰难发展

1206年，成吉思汗统一蒙古族各部，立国漠北，号大蒙古国；1271年（至元八年），取《易经》“大哉乾元”之义，又建国号为大元；1272年（至元九年），迁都燕京，称之“大都”；1368年（至正二十八年），元顺帝出亡。元朝前后经历了97年。

蒙古贵族出现在世界历史舞台上时，是一个刚脱离了原始氏族社会，并开始步入奴隶社会的新兴奴隶主阶级，具有极强的掠夺性和嗜杀性。元朝在统一全国的过程中，曾在全国范围内极其残暴地进行了大规模的屠杀、掠夺和焚烧，使全国广大地区，尤其是北方各省被破坏得荡然无存。虽忽必烈即位后，采取故老诸儒之言，考求前代之典，立朝廷而建官府，但从总体上看，从政治、经济、文化，到手工业生产，元代都是一种历史的大倒退。包括手工业在内，元代的诸管理制度并不是宋代的延续和改善，而是为了适应奴隶主贵族征战和奢侈生活的需要而制订出来的，尤其前期。所以元代手工业一直处在十分恶劣、艰难的环境中。

但为了自身的生存和发展，任何一个社会都要维系其最为基本的生产，所以此期手工业技术仍有一定发展；技术与社会间的关系，有时也是十分复杂的；元代的制瓷技术、机械技术等都取得了一定的成就。

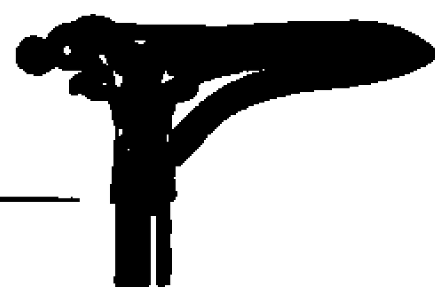
### 第一节　煤炭使用和石油开采技术的发展

元代采矿业不甚发达，有关考古资料和实物资料皆为数不多，其中较值得注意的是瓷土开采技术、采煤和用煤技术，以及石油开凿技术。瓷土技术待第三节再谈。

采煤技术。其在元代受到过一定的重视。主要表现是在徽政院、储政院属下的内宰司设有西山煤窑局，专门管理西山煤窑事务[1]。我国古代的煤业管理机构始见于宋，元代也有同样的建制。

元代煤炭的使用范围已经较宽。我国古代煤炭主要有五大用途：（1）作生活用燃料。（2）作陶瓷、坩埚冶铁等手工业用燃料。（3）用于炼焦。（4）掺入耐火土中作碳质耐火材料。荥阳楚村元代冶铸遗址的坩埚胎料中发现有煤粉，显然是使用了煤粉作为坩埚的炭质耐火材料[2]。（5）其他特殊用途，如作煤雕、制墨、作火药、入药、殓尸等。从汉到元，断断续续都可看到。

荥阳楚村许多元代坩埚的内外壁都有熔融痕迹，并粘有炉渣及煤块，遗址中



也发现了煤块，不少炼渣上粘有煤块[2]。这说明其在坩埚内外都曾用煤作燃料。王可曾分析过元大都出土的16件铸制铁器，金相显微镜下，其中15件存在较多的FeS夹杂，其车轴、铁钟、铁炉3器含硫量分别为1.06%、0.66%、0.71%。人们又对53件（其中锻件36件，铸件17件）元大都铁器进行了硫印试验，发现其中36件为阳性，占硫印试样总数的68%；而在36件锻件中，呈阳性的为19件，占硫印锻件试样总数的53%；含硫较高者皆为铸件[3]。这很可能与铸造及冶炼用煤有关。北京地区的坩埚冶铁始见于汉。

西方使用煤炭的时间也是不晚的，英国锻冶业可追溯至罗马时代，但数量较少，且不太普遍、不太连续。我国自汉代以后，日常生活和手工业用煤便逐渐推广开来，至迟汉代，就用到了坩埚冶铸中。宋、元之后，用煤更为普遍。这使意大利旅行家马可·波罗十分惊奇，他说："契丹全境之中，有一种黑石，采自山中，如同脉络，燃烧与薪无异，其火候且较薪为优。盖若夜间燃火，次晨不息，其质优良，致使全境不燃他物，所产木材固多，然不燃烧，盖石之火力足而价亦贱于木也"。[4]这段话看来多少有一些夸张，但也反映了当时我国用煤数量之大和地域之广。同时也说明，当时欧洲用煤量依然是很少、很不普遍的。马可·波罗在中国的时间大约是元世祖至元八年到元成宗元贞三年（1271～1297年）。

石油开采技术。元代石油开采获得过一项较为重要的成就，前面提到，大约到宋代为止，石油都是自然流出，露天采取的，元代便发生了变化。孛兰肹等《元一统志》卷四"延安路·土产"："石油在延长县南，迎河有凿开石油一井，其油可燃，兼治六畜疥癣，岁纳壹百壹拾斤。""石油，在宜君县二十姚曲村石井中，汲水澄而取之，气虽臭，而味可疗驼、马、羊、牛疥癣。"此书约成于1286～1303年。由之可见，延长县油井是"凿开"出来的，这是我国古代关于人工开凿油井的最早记载。

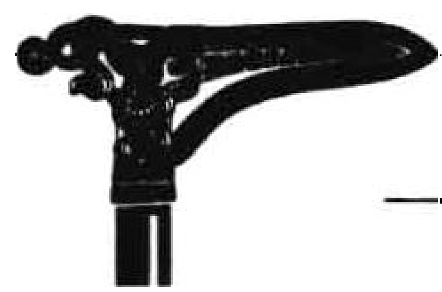
## 第二节　冶金技术发展的艰难历程

元代冶金技术的发展是十分艰难的，技术上并无创造性的重大成就，其中比较值得注意的事项是：在冶铸方面，筑炉技术有了明确记载，水力鼓风技术进一步推广开来，自六朝以来被冷落了多时的金属模具又被人们重视起来；金属加工方面，开始了由国家组织镔铁生产；铸铁可锻化处理技术在元大都依然可以看到。

### 一、熔炉构筑技术的发展

我国古代早就构筑了一批规模较大的冶铸炉，但有关炉子构筑及其工艺操作的记载却是到了元代才看到的。这也是元代冶铸技术中一项值得注意的事件。

至顺元年（1330年）陈椿所绘《熬波图》第三十七载有一幅铸造牢盘（煮盐大铁锅）的工艺图像（图7-2-1），并附有文字说明，其文云："熔铸柈（盘），各随所铸大小，用工铸造，以旧破锅镬铁为上。先筑炉，用瓶砂、白礠、炭屑、小麦穗和泥，实筑为炉。其铁柈沉重，难秤斤两，只以秤铁入炉为则。每铁一斤，用炭一斤，总计其数。鼓煽熔成汁，候铁熔尽为度。用柳木棒钻炉脐为一小窍，炼熟泥为溜，放汁入柈模内，逐一块依所欲模样泻铸。如要汁止，用小麦穗和泥

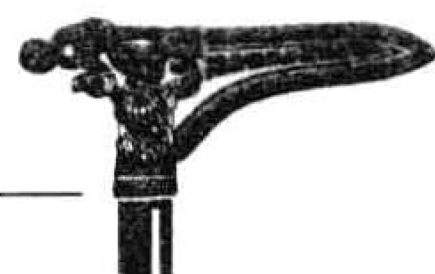



一块于杖头上，抹塞之即止。柈一面亦用生铁一二万斤，合用铸冶，工食所费不多"[1]。此示图和文字简明地反映了元代化铁炉的炉型、筑炉材料、熔铸操作等工艺要素：（1）此化铁炉大体呈腰鼓型，具有一定的炉身角和炉腹角。上口较小，可增加炉料与炽热气体接触的机会，提高热利用率，加速铁料的熔化和某些物理化学过程；炉腹下收，有利于热量集中，以提高炉缸温度。基本形态与考古发掘中所见唐、宋熔炉炼炉大体一致。（2）所用耐火材料是掺和了瓶砂、白礶、炭屑、小麦穗的泥土。瓶砂，即陶瓷器的碎粉，相当于一种"熟料"，可提高筑炉材料的耐火度和强度。白礶，即白色耐火泥，具有较高的耐火度和热稳定性。《本草纲目》卷七"白垩·释名"条云："土以黄为正色，则白者为垩色，故名垩。后人讳之，呼为白善。"同卷"白垩·集解"条云："白土处处有之，用烧白瓷器坯者。"前面还谈到，古人还曾用白善浣衣。炭屑，这是一种很好的耐火材料，因炭在还原性气氛下具有较高的耐火度和抵抗炉渣侵蚀的能力；小麦穗炭化后亦可起到与炭屑同样的作用。（3）其铁炭比为1:1。（4）操作要注意以熟泥堵塞出铁口，在炉前设池铸造，炉口上设一挡风墙。可知这耐火材料技术、炉型设计、熔炼操作都已达到较高水平。与流传至今的传统铸造工艺亦有许多相似之处，这对我们了解元及其稍前的化铁炉、冶铁炉炉型，以及铸造和冶炼技术都具有十分重要的意义。《熬波图》计有47幅图画，反映了海盐生产的全过程。"铸造铁柈（盘）图"系其中之一。




图7-2-1　《熬波图》所载元代化铁炉及其风扇
采自文渊阁《钦定四库全书》本

此期耐火材料技术的发展，不但可从化铁炉，而且可从坩埚炉上看到。1981年，郑州市荥阳县楚村元代铸造作坊遗址出土过一批坩埚，直筒状，直口直腹，口沿部较薄，底部微收，圜底较厚；高约16.5～19.0厘米，口径8.5～10厘米，腹径略大于口，底径7.5～9.0厘米，壁厚1.0厘米，底厚1.0～2.5厘米，与坩埚伴出的还有铜模、残炉壁、炼渣、陶窑等[2]。吴坤仪分析过其中的4件坩埚，物相基本一致，主要组分是粘土和少量煤粉，其粘土团中杂有石英屑，煤粉中含有少量石墨。一件未曾使用过的坩埚中尚见有少量莫来石（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）晶体。看来，此物相与《熬波图》所云大体一致。因为：（1）莫来石系粘土、高岭土在高温下煅烧而形成，它出现于未经使用过的坩埚组织中，说明此坩埚使用了类于



废旧坩埚、砖瓦碎片等熟料，其作用与《熬波图》所云“瓶砂”是一样的。（2）两者都使用了炭质材料，荥阳坩埚中见有少量石墨，更有利于提高其强度和耐火度。其中一件坩埚的化学成分为：$SiO_2$ 56.15%、$Al_2O_3$ 30.32%、CaO 0.8%、MgO 0.58%、TFe 3.66%、MFe 1.24%、C 5.36%、S 0.055%，耐火度达1580℃～1610℃。样品粉碎中吸出了2.96%的金属铁。可见：这是一种高铝质粘土，具有较高的高温强度和抗侵蚀的能力，这种筑炉材料此前是很少看到的[2]。

## 二、水力鼓风技术的发展

我国古代水力鼓风约发明于东汉早期，但有关其结构形态却是到了元代才被王祯《农书》记述和图示出来的。

元王祯《农书》卷一九载有两种不同形式的水排：一为卧轮式，其主动轮的轮辐平面呈水平卧状。二为立轮式，其主动轮的轮辐平面是竖立的。卧轮式是这样的：“其制当选湍流之侧，架木立轴，作二卧轮，用水激转下轮，则上轮所周弦索，通缴轮前旋鼓，掉枝一例随转。其掉枝所贯行桄，因而推挽卧轴左右攀耳，以及排前直木，则排随来去。搧冶甚速。”（图7－2－2）此“弦索”相当于传动带，“旋鼓”即可以转动的鼓状物；“掉”即摆动，“掉枝”即可以摆动的枝杆；“行桄”即连杆。可知这卧式水排的结构和传动方式大体上是这样：先在河流湍急处设一木架，木架上竖一转轴，转轴上下各安一个水平放置的卧轮，下卧轮的辐向装有挡水叶板，水击叶板，下轮转动，上轮亦随之旋转，再通过绳索的传动，带动旋鼓转动。旋鼓原是置于上卧轮前方的，它又带动掉枝、行桄、攀耳、排前直木一起运动；由于排前直木一推一拉，使风扇一启一闭，便不断将风鼓入炉内。

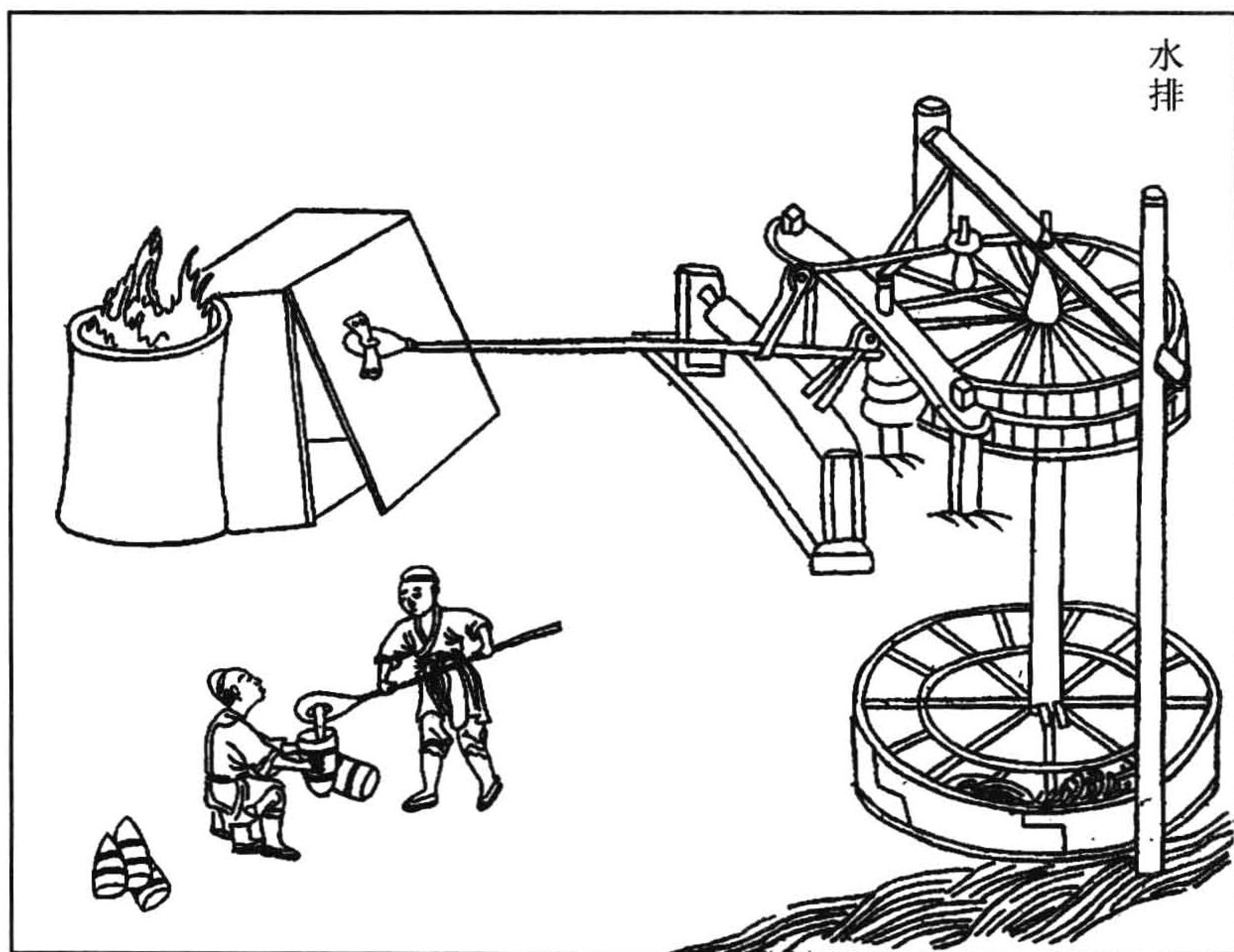
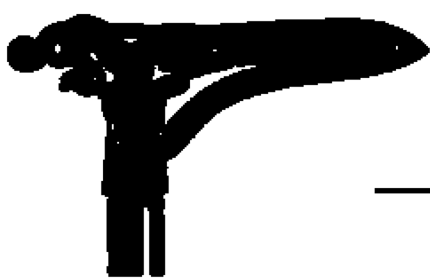



图7－2－2 王祯《农书》所载卧式水排图





立轮式水排是这样的："先于排前直出木簨，约长三尺，簨头竖置偃木，形如初月，上用秋千索悬之。复于排前植一劲竹，上带棒索，以控排扇。然后却假水轮卧轴所列拐木，自然打动排前偃木，排即随入。其拐木既落，棒竹引排復回，如此间打一轴可供数排，宛若水碓之制。"此"簨"指横木。古代卦钟的架子叫"簨虡"，横杆叫"簨"，直柱叫"虡"。此"拐木"即卧轴周边上的凸块。所以立轮式水排的构筑方式是：先在排前装一条长约3尺，名叫木簨的横杆。木簨的一端与扇板相连，另一端安上一块半圆形偃木，并用秋千索吊起，再在木扇前立一劲竹，以提扇板。水轮带动卧轴转动，卧轴周边所装名叫拐木的凸块间断地碰撞偃木，拐木与偃木碰上时，扇板就关闭；脱离接触后，因劲竹之力，扇板提起。这样一启一闭，便达到鼓风的目的。一条打轴可供数排之用[3]。类似的水力鼓风冶铁装置到20世纪70年代，还在我国浙江永嘉等地流传。

**三、铜质模具造型技术**

此所谓"模具"，即是用来制作铸范的器具，习谓之母范。我国古代泥型铸造的造型方法主要有模具夯填法、手工直接雕塑法，以及二者兼用的混合法等种。泥型铸造一般皆用模具，自然也可不用模具，但翻砂铸造则是必须使用模具的。模具可用木头、陶瓷，以及金属材料等专门制作，亦可使用相应的实物代替。实物模具多用于钱币铸造。专门制作的金属模具也出现较早，前云汉代的许多铜质范盒便是一种模具，但用量一直不大；六朝之后，在中原文化区便很少看到，及元时，又在北方部分地区流行开来，并且较多地用到了农具上。

1981年，荥阳楚村在出土元代坩埚的同时，还出土了17件铜质模具，其中有犁镜模一套2件、犁铧模1件、犁铧芯盒一套2件、耧铧模2件、芯盒2套4件、犁底（？）模1件、耙齿模2件、莲花饰模2件、桥形器模1件。模具上多见有较为明显的合范缝和浇口痕迹；模型表面有轻度印痕，致使器壁厚薄不均；但犁铧、耧铧模则随表面凹凸而构成了复杂的型腔。模具及其范芯盒设计上有不少独到之处，如犁镜模设计有边框，可在边框内成型。铜质犁铧模的芯座一侧有一长方形凸起，恰好与芯盒模型一侧凹块相吻合，使型与型芯上下左右对正。铜耙齿模和桥形器模均采用两件并连，共用一个浇口的方法。从现代技术观点看，人们对模具的要求是：表面光洁、花纹清晰，分型面设计较好，便于起模。荥阳铜模与此是大体相符的。金属模的优点是：强度较高、寿命较长，缺点是制作较为麻烦[2]。

类似的铜质模具在其他地方也有发现。1984年，北京延庆千家店元代铸造遗址发现4处炼炉灶坑、3件铜质模具（习又谓"范母"），其中两件铸有"至正"年款，分别为："至正十九年造"、"至正二十七年月五造"。在犁铧模正面后端两侧还书有"任造"两字[4]。1963年，包头市郊麻池出土铜质犁镜模盒，计上下二盒，初步断代为元，伴出物有铁渣，附近有坩埚片、煤渣、木炭灰等[5]。

从考古资料看，金属模可说是元代铸造技术的一个特点；也有人认为这是元代翻砂铸造获得较大发展的一个证据。

元廷对铸造业还是较为重视的。《元史》卷八五"百官一"载，工部下设有诸色人匠总管府，"掌百工之技艺"，其下设有"出蜡局提举司"，"掌出蜡铸造之工……延祐三年（1316年）陞提举司"。此"出蜡"即今人之谓"失蜡"，这是我



国古代对这一熔模铸造法的较早称谓之一①。另外还设有“铸泻等铜局”、“掌铸泻之工，至元十年始置”。可见工部下设有两局专管铸造。此外，徽政院下还有铸印局等。

**四、热处理技术**

此期的热处理技术总体上是沿用了前世的操作，淬火、退火都被广泛采用，铸铁可锻化退火依然保存着。

淬火方面值得注意的事项有二：一是1964年出土的1件元大都铁刀曾经淬火，刃部取样，金属基体为马氏体，并见有细长的硅酸盐夹杂；1件铁矛曾经夹钢，并淬火。尖部取样，试样中心为马氏体，试样两侧为铁素体[6]。二是人们对淬火剂进行了多种探索。元人伪撰《格物麤谈》卷下载：“地溲油又如泥，色黄金，气腥烈，柔铁烧赤投之二三次，刚可切玉。”此“地溲油”即石油，以矿物油作淬火剂这是首次见于记载。此“柔铁”即古代意义的“熟铁”，即可锻铁；其淬火后“刚可切玉”，含碳量应当较高。此外，与宋《物类相感志》同样，《格物麤谈》也谈到过青铜淬火和用香油作淬火剂的问题，内容和行文基本一致。

尤其令人兴奋的是，人们在考察元大都铁器时，发现了2件可锻铸铁，都进行过脱碳退火：一件是小铁铲，刃部取样，金属基体为珠光体，部分碳化物呈网状，观察面上见有较多的FeS夹杂；另一件是铁勺，金属基体为珠光体和少量铁素体，观察面上亦见有FeS夹杂[6]。这是迄今所知年代最晚的一批古代可锻铸铁。

**五、关于镔铁的产地和工艺**

元代金属加工技术虽无创造性成就，但也有一些特色，其中最值得注意的是镔铁。前面谈到，“镔铁”实际上是由国外传入我国的一种花纹钢，即大马士革钢[7]，北魏时期传入我国，之后的许多历史时期都有记载。元代曾由国家专设了管理镔铁的机构。镔铁的传入，是中外技术交流的一个例证。因其性能较好，千百年来一直受到世人的称赞。今把镔铁的部分资料再作一介绍。

（一）关于镔铁的原产地

如前所云，我国古代提到的镔铁原产地有波斯和罽宾两个地方，《魏书·西域列传》、《周书·异域列传》都说到过波斯产镔铁；之后，《隋书·漕国列传》、唐慧琳《一切经音义》卷三五、宋史乐《太平寰宇记》卷一八二等又都谈到过罽宾产镔铁；《隋书·波斯列传》、五代轩辕述《宝藏论》等则谈到了波斯出产镔铁。这基本上都反映了历史的真实。有学者认为，镔铁原产地只有罽宾一处[7]，其实并非如此[8]。

早期镔铁大约主要以礼品形式传入我国，之后商品量逐渐增加；及宋，镔铁便成了海上贸易的重要交换品，这在《宋史》卷一八六曾有记载。我国自己生产和加工镔铁的记载始见于元、明时期。《元史》卷八五“百官志”载，工部的诸色人匠总管府下设有“镔铁局”，“掌镂铁之工，至元十二年置”。工部下还设有提举

① 依清朱象贤《印典》卷六“镌制·铸印法”所云，宋王基《梅菴杂志》亦提到过熔模铸造工艺，并称之为“拨蜡”法（这在第九章还要谈到），若《印典》引用的文字确凿的话，“拨蜡”法之名应是人们对熔模铸造工艺的较早称谓，可惜的是我们眼下尚未查到《梅菴杂志》一书，故不知“拨蜡”二字是宋人原文，还是清人会意写下的。

右八作司，"在都局院造作镔铁、铜、钢、鍮石、东南简铁"。

关于"镔铁"一词的含义，章鸿钊先认为它可能是波斯语 Spaina 之音译，这当有一定道理。但今查，清邹代钧《西征纪程》卷三引《元史》曾说波斯有一个名为"镔铁"的地方，宝祐六年（1258 年），蒙古人渡过红海，收富浪国，"师还至失罗子，至镔铁"。原注云：富浪国，"当为埃及国别部"。失罗子，"即今波斯国法尔斯部之什拉自城度分"。"'镔铁'即今波斯国吉德国斯部之宾铁城，在赤道北二十六度十二分，京师偏西五十六度四十二分。"依此看来，镔铁城当在今伊朗境内。所以，不能排除此"镔铁城"与作为花纹钢的镔铁间存在某种关系的可能性，即是说，"镔铁"很可能也是一个地名[8]。

（二）关于镔铁的工艺

今学术界皆认为，镔铁即是大马士革钢。依此，元代和其他朝代的镔铁生产工艺，也即大马士革钢工艺。

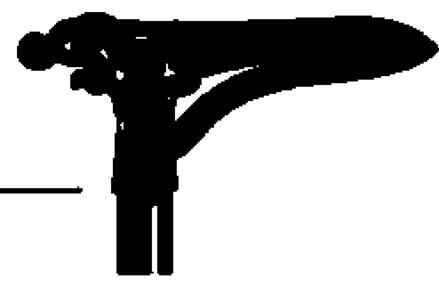
由国外学者的大量研究看，古代的大马士革钢主要有两大工艺类型：（1）"铸造"型，它是以印度乌兹钢为原料的。所谓"铸造"，不过是一种借喻；因在古人看来，成型方式只有两种，非锻即铸，故此"铸造"之名只表明这种大马士革钢花纹并不是锻焊得到的。乌兹钢冶炼又包括直接法和间接法（块炼渗碳法）两种，皆属坩埚冶炼。其冶炼产品本身便是一种含碳量较高、组织和成分极不均匀的固体块。这种冶炼产品还需要在氧化性气氛下进行脱碳退火，要脱碳处理到可以锻打为止。这种脱碳退火后的产品依然是一种组织和成分极不均匀的固体块。人们便以这种固体块作为大马士革钢的原料。（2）"锻焊"型，它以任意两种含碳量差距较大，具有一定可锻性的铁碳合金为原料，通过多层积叠、反复折叠，以及旋拧等方式锻合、焊合而成。此锻焊在一起的钢料，便是大马士革钢料。任何地方的可锻铁皆可制作此种大马士革钢的。早期大马士革钢原包括"铸造"型和"焊接"型两种工艺的，早在罗马帝国时代，大马士革城就成了这种带花纹的优质兵器生产的中心。后来随着锻焊大马士革钢的发展，"大马士革钢"一词便主要指锻焊花纹钢了。

我国古代对锻焊大马士革钢的工艺，唐慧琳《一切经音义》卷三五便有明确记载。有学者认为慧琳谈到的"诸铁和合"法生产不出花纹钢来，说其必有合拼的痕迹[7]。这与现代技术原理，与我们的模拟试验[9]都是不相符的。

由上述情况推测，我国古代的镔铁工艺亦可能有两种操作：（1）使用国产钢铁料制作出锻焊型大马士革钢，及其刀剑等器。（2）以印度生产的乌兹钢为原料，加工成刀剑等器。有学者认为锻焊法制作不出花纹钢来，只承认"铸造型"之存在[7]，故其结论便是镔铁原产地只有罽宾一处。如若看到了锻焊大马士革钢在技术上的可能性，镔铁原产地便不止一处了。图版拾肆，2、3 为大马士革钢花纹形态。

## 第三节　元代制瓷技术的发展

在相当长一个时期内，元代瓷器是不为后世研究者重视的，说它并无创造性





成就，20世纪50年代后，因大量考古实物的先后发现，此认识逐渐被打破。

在元代窑口中，首先值得一提的是钧窑，其始烧于唐，但却是到了元代才形成一个窑系的。今河南、河北、山西的不少地方，元时皆烧造过钧瓷，窑址数量远远超过了宋代。北方各省、自治区都发现过元钧瓷器，在元大都出土的各窑瓷片中，钧瓷位居第二[1]。元钧瓷釉色常为天蓝与月白交融，以月白为主；宋钧瓷的海棠红、玫瑰紫，元时已甚为鲜见。元钧瓷虽较宋钧瓷粗糙，但亦不乏精美之品。1972年北京后桃园元代遗址出土一对钧窑双耳瓶，高63厘米，花口，莲座，造型别致，釉色艳丽[2]。保定市出土一件元钧瓷大盆，月白釉，口径达45厘米。

元代磁州窑器除河北外，河南、山西亦有烧造，主要生产白釉黑花器，有的施加棕色彩釉，也有黑花再罩孔雀绿。

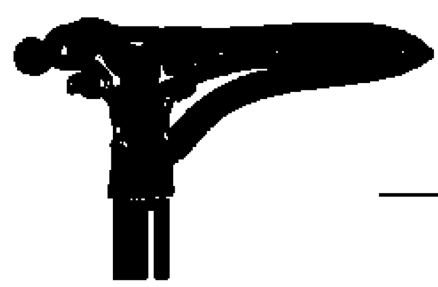
耀州窑青瓷在元代虽已衰落，但其白地黑花瓷却异军突起，并迅速发展，及元末始衰。往昔认为耀州窑衰于金末元初，看来此判断有些与事实不符[1][3]。

龙泉青瓷虽在南宋已达鼎盛阶段，但元代仍有一定发展，其窑址群亦数倍宋代。南宋那种质如美玉的作品，元时在大窑、上严口、安仁口等地都有生产，器物品种也超过了南宋[4]。元代龙泉青瓷的一个重要特点是器型高大，胎体厚重。大窑和竹口等窑址都发现了许多大型瓷器，有的花瓶竟高达1.0米，瓷盘直径达60厘米；安仁口岭脚窑址所出大碗口径达42厘米。其器形规整，釉面光洁，色泽宜人。粉青釉、梅子青等高档品种虽然减少，但生活用品的产量增大了。

景德镇瓷业在元代取得了突破性进展。《元史》卷八八"百官志四·将作院"载："浮梁磁局秩正九品，至元十五年立，掌烧造磁器，并漆造马尾、棕藤、笠帽等。"景德镇官窑亦始于元，其各项管理制度更为规范；其民窑在元代也有不少发展。景德镇元代制瓷工艺的主要技术成就是：胎中含铝量稍有提高；釉下青花技术有了较大发展；烧出了釉里红和卵白釉；高温色釉技术逐渐成熟起来，烧出了蓝釉，发展了铜红釉，使昔日釉色主要仿玉类银的局面开始发生了变化，为明、清两代景德镇瓷业的发展打下了良好的基础。

元代对外贸易的数量和规模较宋代都有了扩展，从文献记载看，出口地点主要是亚洲一些地区，但考古资料则延及到了非洲东部。元汪大渊《岛夷志略》载，当时我国外贸瓷器的地区达50多个，分属今菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、泰国、缅甸、孟加拉国、印度、巴基斯坦、伊朗、沙特阿拉伯等国[5]。出口瓷器品种主要有青瓷、白瓷、青白瓷、花瓷[6]。该书成于元惠宗至元六年（1340年），是汪大渊前后两次，计约八年出洋所见。1976年，韩国在新安海底经8次打捞，共得中国元代沉船瓷器18 000余件，品种有青瓷、白瓷、青白瓷、黑瓷、枢府瓷、乳白釉瓷、白釉彩瓷、白釉黑彩瓷等；所属窑口有龙泉窑、景德镇窑、建窑、吉州窑、赣州窑、磁州窑、定窑、南宋官式窑、钧釉系窑，以及一些不明窑口的瓷器。该船沉于1323年，部分器物具有南宋特征。今出土和收藏有元代青花瓷的地方遍及东亚、东南亚的日本、菲律宾、新加坡、印度尼西亚、马来西亚，而且还有西亚的伊朗、伊拉克、叙利亚、土耳其和北非的埃及、东非沿海的肯尼亚等地[7]。这在较大程度上反映了元代瓷器外销业的发展。

元代制瓷技术的主要成就：一是景德镇的胎、釉技术都有了发展；二是龙窑





技术和葫芦窑技术都有了提高；三是许多窑场，如钧窑、磁州窑、龙泉窑、景德镇窑、德化窑等的生产规模普遍扩大；大型器物增多，烧造技术亦更加成熟；其产品不但满足了国内市场的需要，而且大量外销。此期的瓷器生产，基本上是景德镇与多个窑系并列的局面。

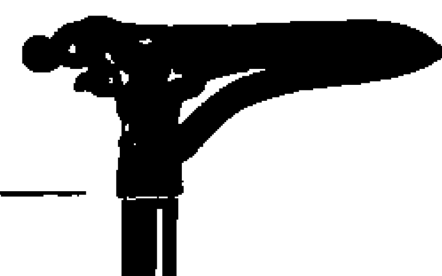
**一、胎料选择技术的进步**

元代胎料选择技术上的主要进步是：江西景德镇和杭州老虎洞瓷胎的含铝量都明显提高，后者提高得更为明显。

有学者分析过9件景德镇元代瓷胎的化学成分[4][8][9]，其中有青花瓷6件，釉里红、影青瓷、枢府瓷各1件，其 $SiO_2$ 含量处于71.59%～75.21%间，平均73.16%；$Al_2O_3$ 含量为18.75%～21.28%间，平均20.46%；$Fe_2O_3$ 为0.16%～1.27%，平均0.83%；其他组分的平均值为：$TiO_2$ 0.24%、CaO 0.37%、MgO 0.19%、$K_2O$ 2.83%、$Na_2O$ 1.88%、MnO 0.05%。与宋代相比较，景德镇元代瓷器的 $SiO_2$ 含量稍有降低，$Al_2O_3$ 稍有升高，$Fe_2O_3$ 则变化不大。前云有学者分析过9件景德镇宋代瓷胎成分，$Al_2O_3$ 平均值为18.92%，只有1件含铝量稍高[10]。依此有学者认为：宋及宋前景德镇瓷胎成分与瓷石、瓷土比较接近，当是采用单一瓷石、瓷土制胎的；元代则可能采用了“瓷石+高岭土”的二元配方法。但也有人认为元代依然采用单一瓷石、瓷土，是通过采、选、洗来提高原料含铝量的。后一观点的理由主要有二：（1）元代景德镇瓷器的 $Al_2O_3$ 含量依然不是太高，单一瓷石（瓷土）完全可以获得这种成分；（2）迄今所见两条元代文献都说景德镇是使用单一瓷土的。一是蒋祈《陶记》所云：“进坑石泥，制之精巧。湖坑、岭背、界田之所产已为次矣。”① 进坑，景德镇东的进坑村。石泥，瓷石加工所成之泥，或风化程度较高的夹石瓷土。二是孔齐《至正直记》卷二“饶州御土”条所云：“饶州御土，其色白如粉垩，每岁差官监造器皿以贡，谓之‘御土窑’。烧罢即封，土不敢私也。或有贡余土作盘、盂、碗、碟、壶、注、盏之类，白而莹，色可爱。底色未着油药处，犹如白粉甚雅，薄难爱护，世亦难得佳者。”①御土，制作御用瓷器之土；余土，江西余干所出之土。可见两段文献所述皆为单一瓷土。蒋祈、孔齐，皆元人。不管“二元”还是“单一”，胎中含铝量提高，都是景德镇制瓷技术上的重要进步。

杭州老虎洞窑址元代地层出土了不少瓷器，其下层便是南宋官窑旧址。有学者分析了5件老虎洞元代瓷器标本，平均成分为：$SiO_2$ 66.202%、$Al_2O_3$ 25.46%（波动范围24.33%～27.16%）、$Fe_2O_3$ 2.73%、$TiO_2$ 1.29%、CaO 0.15%、MgO 0.314%、$K_2O$ 2.82%、$Na_2O$ 0.41%、$P_2O_5$ 0.24%、MnO 0.08%[11]。可见它们的含铝量较南宋官窑瓷器有明显提高。前云南宋郊坛下官窑瓷器 $Al_2O_3$ 的平均含量仅22.82%。又有人分析过4件元大都瓷器[12]，其平均值为：$SiO_2$ 61.37%、$Al_2O_3$ 27.24%（波动范围24.17%～28.95%）、$Fe_2O_3$ 3.55%、$TiO_2$ 1.03%、CaO 0.23%、MgO 0.49%、$K_2O$ 3.54%、$Na_2O$ 0.6%、$P_2O_5$ 0.13%。从

① 孔齐《至正直记》、蒋祈《陶记》，今皆转引自熊寥《中国陶瓷古籍集成》，江西科学技术出版社，2000年。





成分分布状态到平均成分，这两批标本都较为接近，故有学者认为，此4件北京标本很可能是杭州生产的[11]。在此，杭州和元大都瓷器的 $Al_2O_3$ 含量都较高，其原料是单一瓷土，还是掺合了高岭土，有待进一步研究。

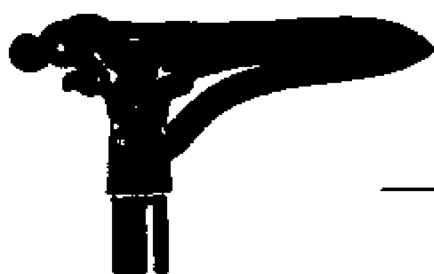
其他窑口的情况也各不相同。

龙泉窑。龙泉青瓷的 $Al_2O_3$ 含量早在宋代便已达到了较高的水平，张福康等分析过5件南宋龙泉青釉白胎器，平均含 $Al_2O_3$ 21.94%。及元，龙泉瓷胎的含铝量并未提高，此时匠师的注意力主要放到了降低铁、钛量上，故元代龙泉青瓷胎的白度大为提高。周仁[13]、郭演仪[14]分析过5件龙泉元代瓷碗、瓷盘的成分，其 $SiO_2$ 为70.36%～73.36%，平均71.62%；$TiO_2$ 平均0.09%；$Al_2O_3$ 为18.88%～20.48%间，平均19.94%；$Fe_2O_3$ 介于1.5%～1.98%间，平均1.66%；CaO 为0.04%～0.17%；MgO 为0.1%～0.74%；$K_2O$ 为4.91%～5.5%；$Na_2O$ 为0.09%～0.82%；MnO 为0.05%～0.11%。明陆容《菽园杂记》卷一四“青瓷”条引《龙泉县志》云：龙泉青瓷初出于一个叫刘田的地方，后来虽然它处亦有生产，“然泥油（胎泥，瓷釉）精细，模范端巧，俱不若刘田”。刘田之胎“泥则取于窑之近地”，“大率取泥贵细”。说明龙泉窑对胎泥的选择和加工都比较注意。此书虽成于明代，但对我们了解元代龙泉胎料、釉料还是很有帮助的。

有学者认为龙泉元代瓷胎原料依然是单一瓷石，它亦主要是通过选择高铝矿源和加强淘洗，来提高瓷胎含铝量的。郭演仪等分析过考古发掘得到的两份元代瓷石，加热时均未显示高岭石族的特征峰，但在电子显微镜下都可看到少量多水高岭石的管状颗粒。两份原料的主要矿物成分依次为石英（62.25%、57.37%）、绢云母（32.21%、37.08%）和少量多水高岭石（5.06%、5.01%）。同时，人们还考察了两份考古发掘的明代原料瓷石，其主要矿物成分是石英（69.95%、60.02%）、多水高岭石（18.77%、29.67%）以及部分绢云母（11.22%、10.21%）。可见明代制瓷原料的多水高岭石含量较元代的有大幅提高。通过多方考察，人们认为宋代与元、明时期的龙泉窑原料产地是不同的，故瓷石风化程度相差较大，内中绢云母和多水高岭石含量亦呈现较大差别。南宋淘洗程度较北宋稍高，元、明淘洗依然较好[14]。龙泉瓷胎的主要特点是含铁量较高，宋代常为2%～4%。如前所云，人们分析过的5件南宋青釉白胎瓷，平均 $Fe_2O_3$ 含量为2.13%；9件南宋龙泉黑胎青瓷平均 $Fe_2O_3$ 含量为4.22%。元代有所降低，这是个进步，这可能与景德镇白瓷技术的影响有关[13]。故历史上的龙泉瓷有白胎和黑胎两种，白胎多泛灰、泛灰黄，黑胎多呈不同程度的灰黑色。

元代南方有的瓷胎含铝量依然较低，有学者分析过4件云南玉溪、建水窑元代青花瓷胎，其 $SiO_2$ 为76.30%～80.76%，平均高达78.72%；$Al_2O_3$ 为14.0%～16.98%，平均只有15.66%；$Fe_2O_3$ 为0.94%～1.4%，平均1.19%；$TiO_2$ 为1.07%～1.35%，平均1.2%[15]。可见此胎尚含有一定量的铁和钛，对胎色是有一定影响的。

钧窑。北方窑器的含铝量一直保持在较高水平上。经分析，元代钧瓷含铝量稍有提高，含铁量却稍有降低，但总体变化不大。其成分波动范围是：$SiO_2$ 61.28%～66.99%、$Al_2O_3$ 24.8%～30.59%、$TiO_2$ 1.14%～1.66%、$Fe_2O_3$ 1.44%～3.68%、





CaO 0.62% ~2.73%、MgO 0.04% ~0.7%、$K_2O$ 1.45% ~2.91%、$Na_2O$ 0.25% ~0.5%。宋代官窑钧瓷的成分为：$SiO_2$ 63.99% ~67.14%、$Al_2O_3$ 25.3% ~27.3%、$TiO_2$ 1.1% ~1.37%、$Fe_2O_3$ 2.8% ~3.35%、CaO 0.63% ~0.94%、MgO 0.53% ~0.7%、$K_2O$ 2% ~2.85%、$Na_2O$ 0.22% ~0.58%[1]。

元代陶瓷的成型大体上沿用了前世的工艺，在此有一点值得一提的是：陕西铜川发现过一件耀州窑“至元四年（1267年）”铭碗内模[16]。这对我们了解碗类器物的成型方式是很有帮助的。

下面谈一下“瓷石”这个名称。瓷石的开采年代约可上推到汉或汉前，直到元代为止，一直是我国南方的主要制瓷原料，明代之后才发生了较大的变化。但“瓷石”这一名称始于何时？却很少见人提起，给人的印象似乎是20世纪七八十年代才流行开的。为了弄清这一问题，笔者查阅了大量文献，终于找到了几条有关“磁石”的记载，其含义与今俗之谓大体上是一样的，今略举三例。

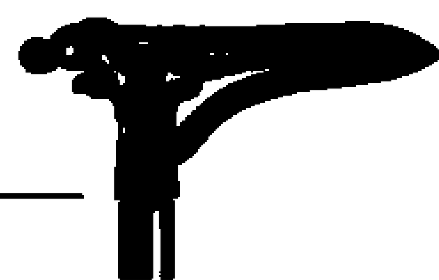
元蒋祈《陶记》说：景德镇附近有一个名叫“磁石堂”的地方，“厥土赤石仅可为匣模”。这是今知文献中较早提到“磁石”一名的地方。此“磁”即“瓷”的借用字，故“磁石”即是“瓷石”。因“磁石堂”这个地方就在景德镇附近，蒋祈说“厥土赤石仅可为匣模”，故我们推测此“磁石”的基本成分与今俗之瓷石接近。这也是文献中较早提到南方产“磁石”的一个地方。学术界对《陶记》一书的年代曾有不同看法，今采用熊寥的观点，定之为元[51]。

清蓝浦《景德镇陶录》卷七“古窑考·各郡县窑考·磁州窑”（1815年成书）云：“始磁州昔属河南彰德府，今属北直隶广平府。称磁器者，盖此又本磁石制泥为坯陶成，所以名也。”同篇“许州窑”云：“明河南许州烧造，制磁石为之，亦瓷器也。”这两段文献资料都提到了“磁石”一名，文中皆称其为制瓷原料，故亦是借“磁”字作“瓷”字而已。假若记述无误的话，此两段文献提到的“磁石”一般都应当是高硅质的，因文献中皆称其为石，而在古代制瓷原料中，只有一种高硅质原料是呈石块状的，高铝质制瓷原料一般皆呈散泥状，鲜见石块状者。当然，也不排除误记的可能性，因磁州、许州皆属北方，北方制瓷原料一般应当是高铝质的，如若如此的话，“磁石”一名不过是借用而已。这是关于北方制瓷原料谈到“磁石”的两个地方。

总之，“瓷石”是我国古代一种重要制瓷原料，古人也曾使用过这一名称，了解这一点，对我们了解古人对制瓷原料的认识过程当有一定帮助。

**二、石灰—碱釉的稳步发展和碱—石灰釉的使用**

南方青瓷的石灰—碱釉形成于宋，它是为了提高釉层厚度，以适应瓷器仿玉之需而产生出来的；及元，此技术继续沿袭了下来，并在景德镇等地都得到了发展。有学者分析过景德镇（5件）[4][8]、龙泉（5件）[13][14]、元大都（3件）[8]、杭州（1件）[8]出土的14件一般性元代釉片，多属石灰—碱釉。釉平均成分为：$SiO_2$ 68.16%、$Al_2O_3$ 14.64%、$Fe_2O_3$ 1.22%、$TiO_2$ 0.04%、CaO 9.22%、MgO 0.68%、$K_2O$ 3.33%、$Na_2O$ 2.19%、MnO 0.22%。其中5件景德镇试样皆为青花瓷釉，其平均成分为：$SiO_2$ 69.58%、$Al_2O_3$ 14.93%、$Fe_2O_3$ 0.89%、$TiO_2$ 0.04%、CaO 8.06%、MgO 0.31%、$K_2O$ 3.4%、$Na_2O$ 2.73%、MnO 0.22%。可知其RO量较低（8.37%），



$R_2O$ 量较高（6.13%），着色剂 $Fe_2O_3$ 和 $TiO_2$ 量亦较低。5 件龙泉青釉的平均成分为：$SiO_2$ 65.89%、$Al_2O_3$ 14.5%、$Fe_2O_3$ 1.54%、$TiO_2$ 0.04%、CaO 11.12%、MgO 1.27%、$K_2O$ 4.0%、$Na_2O$ 0.53%、MnO 0.45%、FeO 0.12%。可见龙泉青釉的含铁量、含钙量稍高，但 $K_2O$ 含量亦稍高，且较稳定。明陆容《菽园杂记》卷一四引《龙泉县志》在谈到龙泉青釉时说："油（釉）则取诸山中，蓄木叶烧炼成灰，并白石末澄取细者，合为油。大率取泥贵细，合油贵精。"此"油"即釉，"白石"即制釉的瓷石。此虽见于明代著作，估计元时亦与此相去不远。由传统工艺调查，并结合科学分析资料看，此第二句当遗漏了"石灰石"一物，大凡南宋之后，南方瓷釉一般都是先以草木与石灰石叠烧成釉灰，之后再与用作制釉的瓷石，即引文中的所谓"白石"配制而成的。石灰—碱釉的制作要点，是减少釉灰配入量，增加釉石(瓷石)配入量，因釉灰中所含 CaO 稍高。

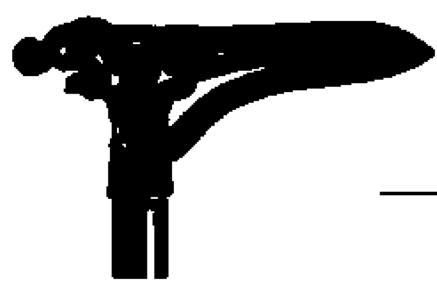
在此期瓷釉中，大约以景德镇枢府瓷釉的 RO 量为低，而其 $R_2O$ 量则稍高，有学者分析过 5 件这类枢府瓷的釉片[17]，成分为：$SiO_2$ 71.98% ~73.41%，平均 72.72%；$Al_2O_3$ 14.61% ~15.63%，平均 15.24%；$Fe_2O_3$ 0.78% ~1.01%，平均 0.87%；CaO 4.03% ~ 6.06%，平均 5.16%；MgO 0.16% ~ 0.68%，平均 0.31%；$K_2O$ 2.27% ~ 3.72%，平均 3.08%；$Na_2O$ 2.27% ~ 3.72%，平均 3.08%；MnO 0.08% ~0.11%，平均 0.1%。可知这成分较为稳定，且 RO 量稍低，$R_2O$ 量稍高；依前章所说之法计算，则此平均成分的釉式中 RO 分子数便为 0.54，依然属于石灰—碱釉，但与碱—石灰釉相当接近。尤其是 5 号标本，RO 量尤低，$R_2O$ 尤高；其成分为：$SiO_2$ 73.41%、$Al_2O_3$ 15.63%、$Fe_2O_3$ 0.95%、CaO 4.03%、MgO 0.24%、$K_2O$ 3.22%、$Na_2O$ 3.34%、MnO 0.1%[17]。经计算，其釉式中 RO 的分子数为 0.48，显然属于碱—石灰釉范围。但这种釉在元代使用还不是太多。

实际上，在不同年代、不同地区间，各类青釉的 CaO、$K_2O$ 量是相差很大的，如前所云，浙江在北宋以前，河南在隋唐以前，青釉基本上是高钙质，其 CaO 量常处于 15% ~20% 之间，$K_2O$ 常在 3% 以下。元时，北方钧瓷也使用了石灰—碱釉。有人统计过一些元钧瓷釉的成分范围，$SiO_2$ 69.29% ~74.35%、$Al_2O_3$ 9.4% ~10.45%、$TiO_2$ 0.17% ~ 0.53%、$Fe_2O_3$ 1.36% ~ 2.4%；CaO 6.77% ~ 12.09%；MgO 0.5% ~1.4%、$K_2O$ 2.35% ~5.5%、$Na_2O$ 0.51% ~2.3%。可见其 CaO 量不高，而 $R_2O$ 量不低[1]。

元时，石灰釉在云南玉溪窑和建水窑等处仍在使用。有学者分析统计过此两个窑口的 4 件元青花瓷，成分为：$SiO_2$ 60.54% ~ 66.96%、$Al_2O_3$ 11.05% ~13.57%、$Fe_2O_3$ 1.08% ~1.51%、$TiO_2$ 0.86% ~1.41%、CaO 12.58% ~18.39%（平均 14.38%）、MgO 1.75% ~3.04%（平均 1.95%）、$K_2O$ 1.73% ~2.4%（平均 2.18%）、$Na_2O$ 0.04% ~0.23%（平均 0.17%）、MnO 0.18% ~0.33%。可见其 RO 较高，平均达 16.33%，$R_2O$ 较低，平均为 2.33%，是比较典型的石灰釉[15]。

### 三、釉下青花和色釉白釉技术的主要成就

元代瓷器施釉和着色技术取得了多项成就，大部分是在景德镇获得的，主





要是：

（一）青花技术的勃兴

我国古代釉下青花技术首创于唐，但直到宋代，考古发掘的青花器依然是不多的；元时，此技术才进入了成熟的阶段。目前看到的元青花器不但数量多，种类繁，而且分布地域较广。20世纪90年代时有人作过统计，国内收藏的元代青花瓷器已达100多件，分布于江西、江苏、浙江、安徽、河北、北京、湖南、云南等省市，其中江西一域便有46件[18]，而且在江西景德镇和吉州[19]、浙江江山县[20]、云南禄丰[21]、玉溪[22]、建水[15]、四川会理[23]等地都发现了烧造青花瓷的作坊。目前所见元青花瓷的器形有云龙象耳瓶、云龙罐、梅花纹高足碗、观音像、菊花纹双耳带座香炉、梅花纹壶带座花瓶以及笔架、水滴、印盒一类的文房用具等，有的尚有铭文，有的较为高大。1985年，江苏句容县出土一对青花瓶，高40.8厘米，青花淡雅，笔画细致。1980年，淮安市在明代墓葬中发现一件元代至正型青花缠枝牡丹纹盖罐1件，通高43.5厘米，青花呈色鲜艳[18]。约20世纪90年代初，有人收集到元代青花花盆一件，长19.5厘米、宽12.5厘米，青花鲜艳俊雅，笔法洗练、洒脱，为国产钴料青花之珍品[24]。在元代青花器中，当以景德镇青花最为上乘，其瓷胎致密洁白，釉面光亮，烧成质量较好，胎釉间常形成较大的钙长石晶体[8]。

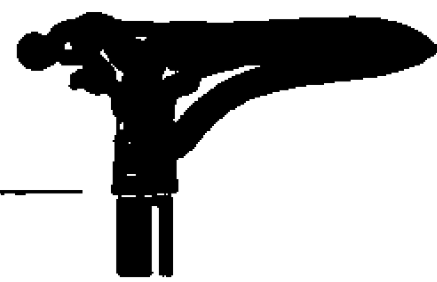
景德镇烧制青花的起始年代约可上推至宋末元初，大家较为熟悉的早期器物有：1978年杭州出土的至元十三年（1276年）郑氏墓的3件青花观音童子像等[18]。元时，官窑和民窑都烧过青花瓷器[25]，但因技术、资金、管理等方面的差异，在造型和胎釉质量上都存在一定差别。景德镇青白瓷早在宋代就成了重要的出口商品而销往国外，元代后期，其青花瓷亦跻身于外销行列，目前在东亚、东南亚、中近东、东非沿岸，及至欧洲都有发现及收藏[7]。

元代青花瓷应是在唐、宋基础上发展起来的，着色料都是一种钴土矿，但产地和具体组分却有许多不同。唐代青花采用含铜、低锰的钴土矿着色；北宋龙泉金沙塔青花采用浙江钴土原矿着色；元代青花料不但与唐、宋不同，而且自身也存在不少差别。有学者分析过12件元代青花瓷的“青花＋釉”成分[8][15][26]，出土于景德镇（4件）、云南玉溪、建水（4件）、元大都（3件）、杭州（1件）①②。云南4件的平均成分为：$Fe_2O_3$ 1.41%、CaO 12.99%、MgO 1.78%、$K_2O$ 2.04%、$Na_2O$ 0.06%、MnO 2.14%、CoO 0.17%。景德镇、元大都、杭州8件的平均成分为：$Fe_2O_3$ 3.09%、CaO 7.05%、MgO 0.31%、$K_2O$ 2.7%、$Na_2O$ 3.31%、MnO 0.11%、CoO 0.59%。可知：

（1）CaO量，云南青花料的较高（10.06%～16.18%），平均12.99%；其他三处较低（5.56%～9.28%），平均7.05%。可见，云南元代青花器之釉实系石灰釉[15][27]。

① 因“青花”的厚度通常只有0.01毫米，很难把它与釉分离开来，故通常分析的都是“青花＋釉”，而不是纯“青花”的成分。

② 文献[8]、[15]、[26]都列出了12组元代“青花＋釉”的成分，但文献[15]把试样YU－2（玉溪青花碗）定为明代，文献[26]将之定为元代。本书依文献[15]，将YU－2定为明代；依文献[8]，将试样Y－10定为元代。





（2）$K_2O$ 和 $Na_2O$ 量，云南青花料的较低，$K_2O$ 为 1.53% ~2.23%，平均 2.04%，$Na_2O$ 为 0.03% ~0.075%，平均 0.06%；其他三处的稍高，$K_2O$ 为 2.29% ~3.11%，平均 2.7%，$Na_2O$ 为 2.62% ~3.85%，平均 3.31%。

（3）$MnO/CoO$、$Fe_2O_3/CoO$，云南元代青花料的为 10.2 ~12.97、0.97 ~2.49；云南钴土矿的为 4.92 ~7.35、1.15 ~1.33；可知此两组比值相差不是太大[15][26]。其他三处元代青花料中，此两组比值为 0.01 ~0.05、2.21 ~4.49；可见此青料含锰量较低，含铁量较高[8]。

（4）经检测，景德镇青花基本上不含铜和镍，但显示有微量的硫和砷，因硫、砷两物皆易挥发，此足以证明景德镇青花料应是含硫含砷，而不含镍和铜的[26]。

所以景德镇青花料应是一种低锰高铁，含砷含硫，不含铜和镍的钴矿[26]。

关于元代青花料的来源，国内外学者都进行过许多研究，众说纷纷。20 世纪 90 年代的最新研究认为：（1）云南元代青花料所用应是本地所产的一种钴土原矿[15]。（2）景德镇、元大都、杭州的元代青花料则可能有两个来源，一是我国甘肃、新疆一带所产，二是来自中亚或欧洲，但皆为一种钴毒砂[26]。但也有学者认为：景德镇和元大都的青花料皆主要来自伊朗卡善的卡姆萨尔村，甚至说唐代青花瓷所用钴料也是外域传进来的，并说其具体地点可能有四：（1）伊朗、阿富汗；（2）大食；（3）印度；（4）佛朗吉斯坦[28]。这些皆需进一步研究。

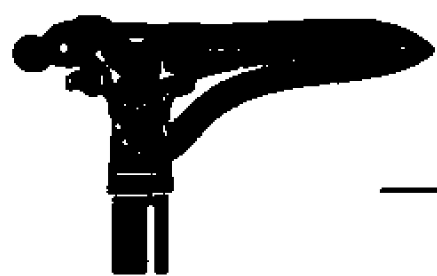
总之，从产地看，元代青花钴料计有国产和进口两种；从成分看，又有云南系和景德镇系两种，这与唐、宋青花是不同的。一般而言，国产钴料之青花通常发色清淡，纹样洒脱疏朗，釉多作卵白色，多为轻巧的小件，制作稍见粗糙，主要见于民窑，多为日用器，除国内使用外，也有部分销往国外；进口青料着色浓艳，多用透明的影青釉作为罩釉，饰纹规整繁茂，器形多较厚重高大，工艺讲究，即世所谓“至正型”青花，其多销往国外，国内存世者不是太多[18]。

青花瓷器的优点是：（1）青花料着色力强，发色鲜艳，对窑内气氛的变化不是十分敏感，烧成温度较宽，呈色较为稳定。（2）青花器物为白地蓝花，明净素雅，具有中国传统水墨画的效果，深受国内外人士喜爱。（3）青花为釉下彩，纹饰永不褪色。（4）青花料为含钴的天然矿物，资源丰富，我国的云南、浙江、江西，以及甘肃、新疆一带都有出产，亦可由国外进口。青花技术的兴起，是我国古代制瓷技术史上具有划时代意义的重要事件。元代以前，瓷器图纹装饰是以刻花、印花为主的；元代之后，由于绘画青花的迅速发展，这几项技法很快便退居到了次要地位，青花器便成景德镇瓷器的主流，并因此迎来了景德镇瓷业在明、清时代的繁荣[20]。

（二）釉里红的出现

釉里红亦是一种釉下彩，做法是先以铜红料在素胎上绘画，之后罩以透明釉，在高温还原性气氛下烧成，使釉下呈现红色的图案。它是在唐代釉下青花、釉上红彩和宋钧红的基础上发展演变过来的。前云唐长沙窑瓦渣坪便看到过釉上红彩、釉上绿彩的工艺[29]。它的出现是元代窑工的又一重要贡献。

釉里红与釉下青花的主要区别是：一个以铜着色，呈红色；一个以钴着色，显蓝色。因 $CuO$ 易受气氛波动的影响，釉里红对气氛要求较严，唯还原性气氛呈





色较好，故烧成难度较大；釉下青花则不易受到气氛干扰，易于获得较好的产品；故所见釉里红器的数量远不能与青花器相比。国外在亚洲的菲律宾、非洲的肯尼亚、索马里、坦桑尼亚等地都有青花瓷器或釉里红器出土[7][20]，其中较为著名的是一个名叫给地的地方出土的釉里红玉壶春瓶，该器口部残缺，釉色青白，形制与内蒙额济纳旗所出釉里红玉壶春瓶极为相似[30]。国内大家较为熟悉的有：北京丰台所出的釉里红玉壶春瓶[31]；保定窖藏所出的一对青花釉里红开光镂花大罐[32]；1974 年江西景德镇至元四年（1338 年）凌氏墓出土的 4 件釉里红器，其釉色均呈影青，用青花和釉里红作彩饰，用青料书写文字[33]；1980 年江西高安市元代窖藏出土一批青花、釉里红器（计 24 件），较为重要的有釉里红开光花鸟纹罐、釉里红雁衔芦纹匜等，其中釉里红开光花鸟纹罐尤为精致，器高 24.8 厘米，口径 13.3 厘米，底径 15.4 厘米[34]。因铜在高温下也是较易挥发之物，故元代釉里红器并无淡彩，而只有一个较浓的色阶，饰纹亦较晕散。

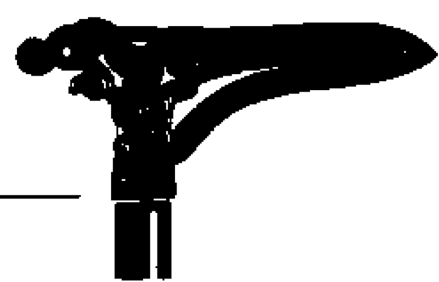
元代还发明了青花与釉里红同施于一器的工艺，实例如上述保定青花釉里红开光镂花大罐等。因青料与铜红料对温度、气氛要求差别较大，故其操作难度是较大的。青花釉里红的成功之作大约出现于清雍正时期。

（三）卵白釉的技术成就

“卵白釉”是今人对元代印花白釉瓷器的专称，胎体厚重，釉呈失透状，色白而微青，恰似鹅卵色。它是元枢密院在景德镇定烧的瓷器，器内印有“枢府”字样，世人又谓之“枢府器”。其印花题材多较简单，习见有双龙纹、缠枝花卉纹等。明《新增格古要论·古饶器》云：“元朝烧小足印花者，内有枢府字者高。”考古发掘的元景德镇瓷器中，除青花、釉里红外，卵白釉器是最佳的。1980 年，江西高安元代窖藏出土青白釉瓷、卵白釉瓷 45 件。[34]~[37] 1982 年安徽歙县先后发掘了两个元代窑藏，一个出土卵白釉印花瓷器 109 件，内壁印有缠枝牡丹纹，花间对称处皆印“枢府”二字；另一个也出土卵白釉印花瓷器多件，但未带铭文，当亦属“枢府型”[38]。

郭演仪分析过 4 件景德镇元代卵白釉，成分为：$SiO_2$ 70.09% ~73.41%，平均72%；$Al_2O_3$ 13.68% ~15.63%，平均 14.95%；$Fe_2O_3$ 0.78% ~0.95%，平均 0.86%；$TiO_2$ 0.1% ~0.22%，平均 0.15%；CaO 4.03% ~6.4%，平均 5.2%；MgO 0.18% ~0.24%；$K_2O$ 2.99% ~3.22%；$Na_2O$ 3.13% ~3.6%。可见此卵白釉亦为石灰—碱釉，其 RO 量较低，$R_2O$ 量较高，而着色元素铁、钛的含量都不高[39]。陈显求分析过 5 件湖田卵白釉的成分，也显示了大体一致的规律：$SiO_2$ 71.98% ~ 73.36%；$Al_2O_3$ 14.61% ~ 15.63%；$Fe_2O_3$ 0.78% ~ 1.01%；$TiO_2$ 痕迹；CaO 4.03% ~6.06%；MgO 0.16% ~0.26%；$K_2O$ 2.88% ~3.22%；$Na_2O$ 2.27% ~3.72%；MnO 0.08% ~0.11%；$P_2O_5$ 痕迹。可知其 CaO 量较低，$K_2O$ 和 $Na_2O$ 却稍高，亦属石灰—碱釉；着色剂 $Fe_2O_3$ 和 $TiO_2$ 亦较低[40]。

卵白釉大体上亦可视为均相釉，但常作轻微的乳浊，略具玉质感，其缘由：一是其中包含有异相的残留石英颗粒，直径多小于 40 微米，而导致了光的散射；二是含有部分釉泡，数量较影青釉稍多，直径约为 10 ~40 微米。从化学成分看，配制枢府釉的釉果应含有钠长石和云母，而釉灰配入量则可能较少[40]。





元代枢府瓷的胎质、釉色，及制作工艺都较精湛，大凡宋、元影青器亦然。在显微镜下，两者都含有一定量的石英颗粒，其呈尖角状，结构完整，尺寸多在40微米以下，原料皆经过严格淘洗。枢府器与影青器的一个重要区别是：枢府器胎釉界面上完全没有钙长石 $CAS_2$ 针状晶丛；这是釉中CaO浓度较低，扩散到界面上去的数量稍少，而不足以在该处析出 $CAS_2$ 之故。此外，枢府器胎中的长石残骸较多，粒度较影青器的石英为小（约30微米）。[40]

早期枢府釉因含铁量稍高，色微闪青；晚期因含铁量减少，色趋纯正，洁白、润泽，而成为明永乐甜白釉的前身。

（四）铜红釉和钴蓝釉的发展

铜红釉始见于唐代长沙窑上，[29][41]宋代在钧窑中有了一定发展，元景德镇窑器中又有了进一步提高。因其烧成气氛不易控制，故呈色多不够纯正。传世和出土的元铜红釉器都是较少的；及至明代永乐时，烧造技术才有了较大提高，并烧出了色泽鲜艳的永乐鲜红釉。

钴蓝料的使用亦始见于唐，最为大家熟知的实物是唐三彩。1972年，陕西乾县唐高宗麟德元年（664年）郑仁泰墓出土一件白釉蓝彩罐钮[33][42]，这是唐初使用钴蓝之证。但唐三彩中的蓝彩釉属低温型，它只有绮丽之感，缺乏沉着的色调；元代才在景德镇烧成了高温蓝釉，其具体工艺有蓝釉金彩和蓝釉白花两种，从而为瓷器增加了一些新的品种，亦为其在明、清两代的发展打下良好的基础。

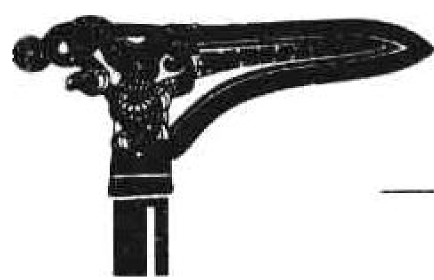
**四、筑窑技术的进步**

元代筑窑技术的进步主要表现在三个方面：一是分室龙窑进一步推广；二是景德镇等地也出现了束腰形葫芦窑；三是通室龙窑结构有了改进。

（一）分室龙窑的推广

分室式龙窑始见于宋，在广西永福，广东梅县、潮安[43]等地都可看到；元代进一步推广开来，结构上亦有改进。宋代龙窑有斜坡式和分级式两种，元代龙窑多为斜坡式。1976年，福建德化屈斗宫窑址发掘一座分室式龙窑，全长57.1米，宽1.4～2.95米，竖直高度14.4米，倾斜11°～22°。全窑计分17室，窑室一般为长方形，长2.39～2.45米；窑体较大，火膛狭小；窑底两边设有火焰流的通道；每堵隔墙下设有5～8个通火孔，其宽0.08～0.19米，高0.26米。窑基上残存有14个窑门，多开于窑室前端（其中11个开于东侧，3个开于西侧）。窑身两壁外残有护墙，可起到保护窑壁的作用[44]。1991～1992年，福建建阳县亦发现1座分室龙窑，窑长40.5米、宽1.33～2.6米，高差8.45米，坡度7°～12°。窑室内残存七道挡火墙，挡火墙下留有焰火孔，两侧窑壁下设有火道，与德化屈斗宫窑相似，断代南宋晚期至元代初期[45]。

龙窑的优点是升温和降温都较快，易于形成还原性气氛，宜于烧造坯胎较薄的石灰釉瓷器，釉色一般光泽较好，透明度较高，显得纯净晶莹，如冰如玉。但宋后出现了石灰—碱釉，其高温粘度较大，为了获得光滑均匀的釉面，须得严格控制升温速度和保温时间；热得快，冷得也快，又不易保温的通室龙窑已不能满足需要，尤其德化白釉瓷，其胎釉所含 $K_2O$ 皆较高，更不宜于在通室龙窑中烧成。有学者分析过元代德化白瓷5件、象牙白釉瓷片2件、影青釉瓷片2件、白釉瓷片




1件，胎中 $K_2O$ 量为4.37%～5.82%，平均5.07%；釉中 $K_2O$ 量为3.77%～5.0%，平均4.24%[46]。分室龙窑因兼具了半倒焰式馒头窑、平焰式通室龙窑的优点，对于每个分室言，它是半倒焰窑，升温、降温都是较慢的；对全窑言，它仍具有龙窑的一般优点；故其一方面升温降温速度和保温时间都较易控制，另一方面又可提高火焰流的抽力，提高热利用率[43]。及明，分室龙窑就更加完善起来，遂发展为阶级龙窑。

（二）葫芦窑的发展

葫芦窑亦始于宋，1957年福建南安发现宋长条束腰葫芦窑1座[47]，元代末年景德镇等地也建造了同样的窑炉。1979年，景德镇湖田窑南河北岸元代后期遗址发现葫芦窑1座，全长19.8米，窑壁残高0.6～1.2米，前室宽4.56米，后室宽2.74米，坡12度（图7－3－1）[48]。可见此葫芦窑兼具了平焰式龙窑、半倒焰式馒头窑构造上的一些特点，实际上是一种只有二室的“分室龙窑”。

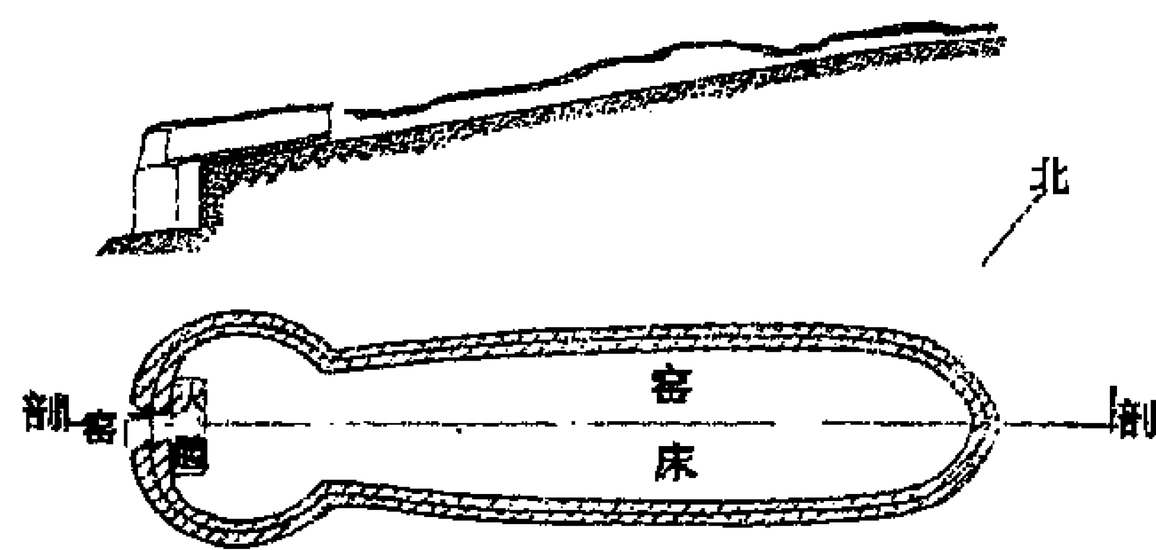



**图7－3－1　南河北岸元代后期湖田窑俯视侧视图**

采自文献［48］

湖田葫芦窑还出土有枢府釉瓷、影青釉瓷和黑釉瓷，前者是典型的石灰—碱釉，是不宜在通室龙窑中烧成的[43][48]。由五代到宋，景德镇主要烧单色釉，主要是使用龙窑的，及元，为适应彩瓷、高温色釉的需要，又发展了葫芦窑[49]，龙窑、馒头窑此时在景德镇依然沿用。

（三）通室龙窑的改进

龙泉等在元代依然采用通室龙窑，但其结构上有一些改进，其窑室长度一般为25～50米，宽1.4～2.4米，坡度10°～16°，个别窑达22°。元代通室龙窑的最大进步是：窑室前段较陡，中段和后段坡度较小，已与近代龙窑相似[50]，这是比较科学的。

## 第四节　棉纺技术的兴起和丝织业的发展

元代是我国古代纺织业由丝麻纺向棉纺转变的重要阶段。棉织技术在经过了漫长的发展后，元时终于在关中和长江中下游一带逐渐推广开来。宋代以前，平民衣着是以麻布为主的[1]；南宋末年时，棉布在中原地区仍是较为珍贵之物，元代才逐渐多了起来。与此同时，丝织业却出现了下降的趋势。黄河下游自古盛产丝绸，安史之乱后，开始出现萧条；元初虽一度恢复，元代中期后却又衰落下来，一些地方转为植棉，蚕桑再无昔日的风采。今四川一带自古便是我国丝绸的重要产地，但经蒙古兵征战、蹂躏后，蚕桑业元气大伤，长久不能恢复。长江中下游的丝绸业是唐后繁荣起来的，南宋时已成为丝绸业的中心。但蒙古贵族的游牧经济、野蛮掠夺、横征暴敛，其亦难免厄运；其政策后来虽有调整，但因棉织业的兴起，蚕桑地域已经缩小，丝织业便开始向集中和专业化方向发展。

此期纺织技术的主要成就是：棉织业在中原地区得到了较大发展，从植棉、



轧籽、弹花、卷筵，到纺纱织布，都形成了一整套独立、完整的工艺；丝织技术也有了提高，推广了笼蒸杀茧法；缫车、纺车、织机的结构和生产过程都有了较多的记载，且常附有示图，为后人了解古代织机具提供了十分宝贵的资料，尤其是脚踏缫车和32锭水转大纺车的推广，充分显示了我国古代纺织技术的发展水平，及其在世界上的领先地位。而媒染、印金、加金等技术的发展，则更把元代织物装饰得五光十色，光彩夺目。

**一、棉织技术的推广和纺织原料初加工技术的进步**

（一）棉花种植技术的推广

宋末元初，棉花技术已较多地传入了内地，有关记载也多了起来。

《农桑辑要》卷二“论苎麻木棉”载：“苎麻本南方之物，木棉亦西域所产，近岁以来，苎麻艺于河南，木棉种于陕右，滋茂繁盛，与本土无异。”此书为元司农司主修，成于至元十年（1273年），当时南宋尚未灭亡。此“木棉”实指新疆一带的一年生草棉。艺，种植。陕右，陕西的右边，即河西走廊的甘肃一带，或包括陕西西部一些地方。说明宋末元初，草棉已在今甘肃、陕西种植。前面谈到，北宋时期，凤翔府便已贡棉布，这更明确地谈到了甘肃、陕西西部一带种植草棉。

《资治通鉴》卷一五九“身衣布衣，木緜皂帐”胡三省“音注”亦云：“木緜，江南多有之。”[2]胡三省为宋末元初人，南宋理宗宝祐四年（1256年）进士，此“音注”约成于元世祖至元二十二年（1285年），即南宋灭亡后六年。这段文字可能是从史炤处援引过来的，但综合其他文献看，此时江南植棉已远胜于史炤时期。这段记载较为明确，各种版本所载皆同，所以棉花传至江南的时间至少可上推至南宋晚期。

因棉花具有诸多优点，传入内地后，便受到了人们的喜爱和热烈赞扬。王祯《农书》卷二一“纩絮门·木绵序”载：“比之桑蚕，无采养之劳，有必收之效。埒之枲苎，免绩缉之工，得禦寒之益。可谓不布而布，不茧而絮。”王祯，东平人（今山东东平），官旌德（今安徽旌德）、永丰（今江西广丰）县尹。此书成于元仁宗皇庆二年（1313年）。

棉花技术得以迅速传入内地，与有关管理部门的提倡也是密切相连的。蒙古贵族虽曾将大量耕地圈成牧场，但元代初年时，朝廷也曾鼓励农耕，并在黄河流域推广先进的棉花技术。《农桑辑要》卷二“论苎麻木棉”条在谈到了棉花传入陕右之事后说：河南植麻，陕右植棉，“二方之民深荷其利，遂即已试之效，令所在种之”。即是说，新疆棉花已在陕右试种成功，便“下令所在种之”。

随着棉织业的发展，棉布便逐渐成了一种重要的赋税之物。此事始见于1289年。《元史》卷一五“世祖纪”载，至元二十六年曾“置浙东、江东、江西、湖广、福建木绵提举司，责民岁输木绵十万匹，以都提举司总之”[3]。但二十八年（1291年）却又罢去[4]。及至1296年，才最后确定下来。《元史》卷九三“食货志一·税粮”载：“成宗元贞二年（1296年）始定征江南夏税之制，于是秋税止命输租，夏税则输以木绵、布、绢、丝、绵等物。其所输之数，视粮以为差。”[5]这是我国封建王朝把“木绵”列为常赋之始，此后的科差代输中，棉花及棉布便成了常见物品[6]。它也进一步促进了棉织技术的发展。

一般认为，棉花是分南北两路传入内地的：一是北路的草棉，从新疆传到了陕右；二是南路的亚洲棉，从闽广传至整个中原。明徐光启《农政全书》卷三五"蚕桑广类·木棉"引邱濬《大学衍义补》云：木棉，"宋元之间，始传其种入中国，关陕闽广，首得其利"。此第一、二句所说未必十分严格，其实在北宋时期，凤翔府便已种棉。这谈到了棉花从关陕、闽广，北南两路传入的情况。两路之中，南路是主要的。因西北草棉的纤维较短，强度稍低，品质稍差，产量亦不高，再加之西北气候干燥，往往易于断纱，难于纺出高支度纱来，布亦较为粗糙，不易受到人们的重视，故传至陕右之后，便达到了它的终点，未能再向内地他处传播[7]。所以，元王祯《农书》卷二一"纩絮门·木绵序"在谈到棉花传入情况时，便未谈到陕右，而只谈到了江淮川蜀，并说其是从海南传来的："木棉产自海南，诸种蓺制作之法，骎骎北来，江淮川蜀，既获其利；至南北混一之后，商贩于北，服被渐广，名曰吉布，又曰棉布"。

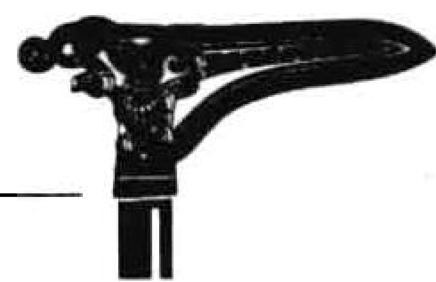
有学者认为，棉花并不是中国原产，北路的草棉是从非洲传入的，南路的亚洲棉则是从印度传来的[8]。此观点自然有一定道理，但毕竟还是一种推论，有关传播路线、时间和方式等，都还缺乏更为确切的依据。同时，武夷棉属公元前1600多年，它们之间有何关系？都是需要进一步研究的。

（二）棉花初加工技术的进步

早在南宋时期，闽广一带的棉花加工就形成了一套由铁铤辗籽、小竹弓弹花、卷筳（卷为小棉筒）、纺纱等一整套较为完整的工艺，但截至宋末元初，长江、黄河流域相类同的技术还是较为原始的。《资治通鉴》卷一五九胡三省"注"说："木緜……土人以铁铤碾去其核，取其绵者，以竹为小弓，长尺四五寸许，牵弦以弹绵，令其匀细，卷为小筒，就车纺之。"[2]此谈到了江南以铁铤碾（辗）籽和小竹弓弹棉。而《农桑辑要》卷二在谈到当时北方棉花初加工时，只说到了"用铁杖赶（辗）出子（籽）粒"，弹花之事却只字未提；在谈到棉花用途时，只说到了"捻织毛丝"和"棉装衣服"[9]，似比江南还要落后些。直到13世纪末年，长江中下游的棉花加工技术才发展起来，从有关记载来看，这与黄道婆的活动是密切相关的。据元末明初陶宗仪《辍耕录》（成书于1367年）卷二四载：黄道婆系松江府乌泥泾（今上海旧城西南约4.5公里处）人氏，年轻时曾流落崖州（海南岛崖县），元成宗元贞间（1295～1297年），遇海船搭乘返回了故里，并把崖州的先进棉纺技术带回了松江。松江"初无踏车、椎弓之制，率用手剖去子，线弦竹弧置桉间，振掉成剂，厥功甚艰"。她在家乡传授"做造捍、弹、纺、织之具，至于错纱配色，综线挈花，各有其法。以故织成被、褥、带、帨，其上折枝、团凤、棋局、字样、粲然若写"。黄道婆所传纺织工具的具体形态，陶宗仪不曾细说，难作进一步判断。陶宗仪，元末举进士不第，明洪武中曾任教官。

王祯《农书》卷二一所载棉花初加工工具计有三种，即木棉搅车、木棉弹弓和木棉卷筳，用于棉花辗籽、弹花和将棉花卷成筒状。下面分别介绍。

木棉搅车。是碾去棉籽的工具，始见于王祯《农书》卷二一，发明年代不详。宋代文献在谈到闽广一带去除棉籽的方法时，只提到过小铁杖，未闻搅车。王祯说：去除棉籽，"昔用辗轴，今用搅车尤便。夫搅车，四木作框，上立二小柱，高





约尺五，上以方木管之，立柱各通一轴，轴端俱作掉拐，轴末柱窍不透，二人掉轴，一人喂上棉英，二轴相轧，则子落于内，棉出于外。比用辗轴，工利数倍”(图7－4－1)。此谈到了棉花搅车的结构和具体操作。显然，这是迄今所知，关于手摇搅车的最早记载。前此，文献上关于去除棉籽的方法，只提到过以铁杖赶之，未闻搅车。以手摇搅车去籽，自然是“工利数倍”。明时又发明了脚踏式搅棉车，生产效率进一步提高[10]。

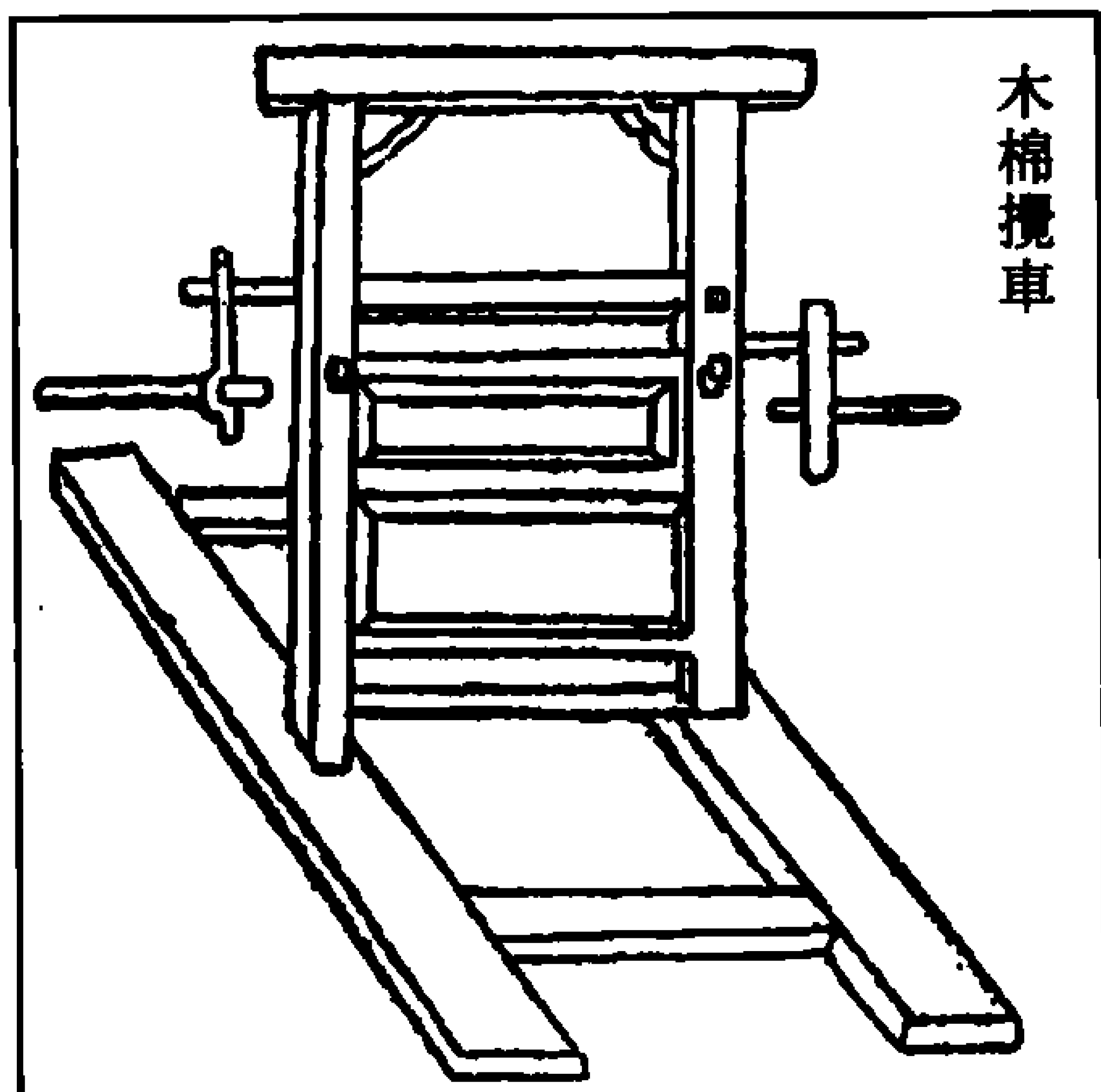



图7－4－1　王祯《农书》所载手摇式“木棉搅车”

木棉弹弓。是将去籽后的皮棉弹开的工具。弹开的目的，一为便于纺纱，二为去除混杂于棉花中的浮土等夹杂，使棉花显得更为洁白匀净。宋代以前如何弹花，文不可征。我国古代最早提到木棉弹弓的是宋方勺《泊宅编》，其弓体较小；及元，弓体增大，有关尺寸大约亦稍见合理。王祯《农书》卷二一载：“木棉弹弓，以竹为之，长可四尺许，上一截颇长而弯，下一截稍短而劲，控以绳弦，用弹棉英，如弹毯毛法。务使结者开，实者虚，假其功用，非弓不可。”

木棉卷筵。是将弹松后的棉花纤维均匀地卷成小筒状。有关记载始见于宋，元代更为详明。王祯《农书》卷二一说：“淮民用蔔黍稍茎，取其长而滑，今他处多用无节竹条代之。其法先将棉毳条于几上，以此筵捲而扞之，遂成棉筒；随手抽筵，每筒牵纺，易为匀细，捲筵之效也。”筵，《说文解字》：“維丝筦也。”即络丝用的竹管，在此指棉筒。

这里谈到了元代棉花初加工的三大工序，即搅车辗籽、弹弓弹花、卷成棉筒。这对我们了解南宋或更早的年代，闽广一带棉花初加工亦有一定帮助。

在此有一点需顺带指出的是，元人常把“木棉”与“木绵”混用，当与棉花技术刚兴起不久有关。

（三）茧处理和缫丝技术的进步

杀茧技术的进步。我国古代的蚕茧处理，始为日晒；南北朝时发明了盐浥法；至迟元代，又发明和推广了笼蒸法。王祯《农书》卷二〇“蚕缫门·茧瓮”条引《农桑直说》云：“生茧即缲为上。如人手不及，杀茧慢慢缲者，杀茧法有三：一曰晒，二曰盐浥，三曰笼蒸。笼蒸最好，人多不解。日晒损茧，盐浥瓮茧者稳。”笼蒸法的具体操作是：“用笼三扇，以软草捆圈，加于釜口；以笼两扇，坐于其上。笼内匀铺茧，厚三指许，频于茧上以手试之。如手不禁热，可取去底扇，却续添一扇在上，如此登倒上下，故必用笼也。不要蒸得过了，过则软了丝头；亦不要蒸得不及，不及则蚕必钻了。如手不禁热，恰得合宜。”“一般快釜，汤内用盐二两，油一两，所蒸茧不致干了丝头。如锅小茧多，油盐旋入。”这里详明地谈到了笼蒸法的具体操作和注意事项，并对日晒法、盐浥法、笼蒸法作了比较，并

认为笼蒸最好，是一段十分难得的资料。

缫丝技术的进步。我国古代手摇缫车技术约发明于先秦时期，汉后逐渐推广开来；脚踏缫车约发明于宋，元代进一步推广。王祯《农书》卷二〇“蚕缫门·缫车”条，在引述了秦观《蚕书》关于缫车的文字后说：“轩必以床，以承轩轴。轴之一端，以铁为袅掉，复用曲木擐作活轴。左足踏动，轩即随转。自下引丝上轩，总名曰缫车”。（图7－4－2）秦观《蚕书》关于缫车的记载前已言及。由图可知，此脚踏缫车是在丝轩的曲柄处接了一条拉杆，拉杆下端与踏板相连，踏动踏板，便可带动丝轩，及致整台缫丝车运动。元时，南北缫车虽结构基本相同，但也存在一些差别，如北缫车煮茧用落地式方灶，有水平连杆和角尺式踏板；南缫车所用则为“缸灶”，即陶土制成的缸状灶，有垂直连杆和贴地长踏板。

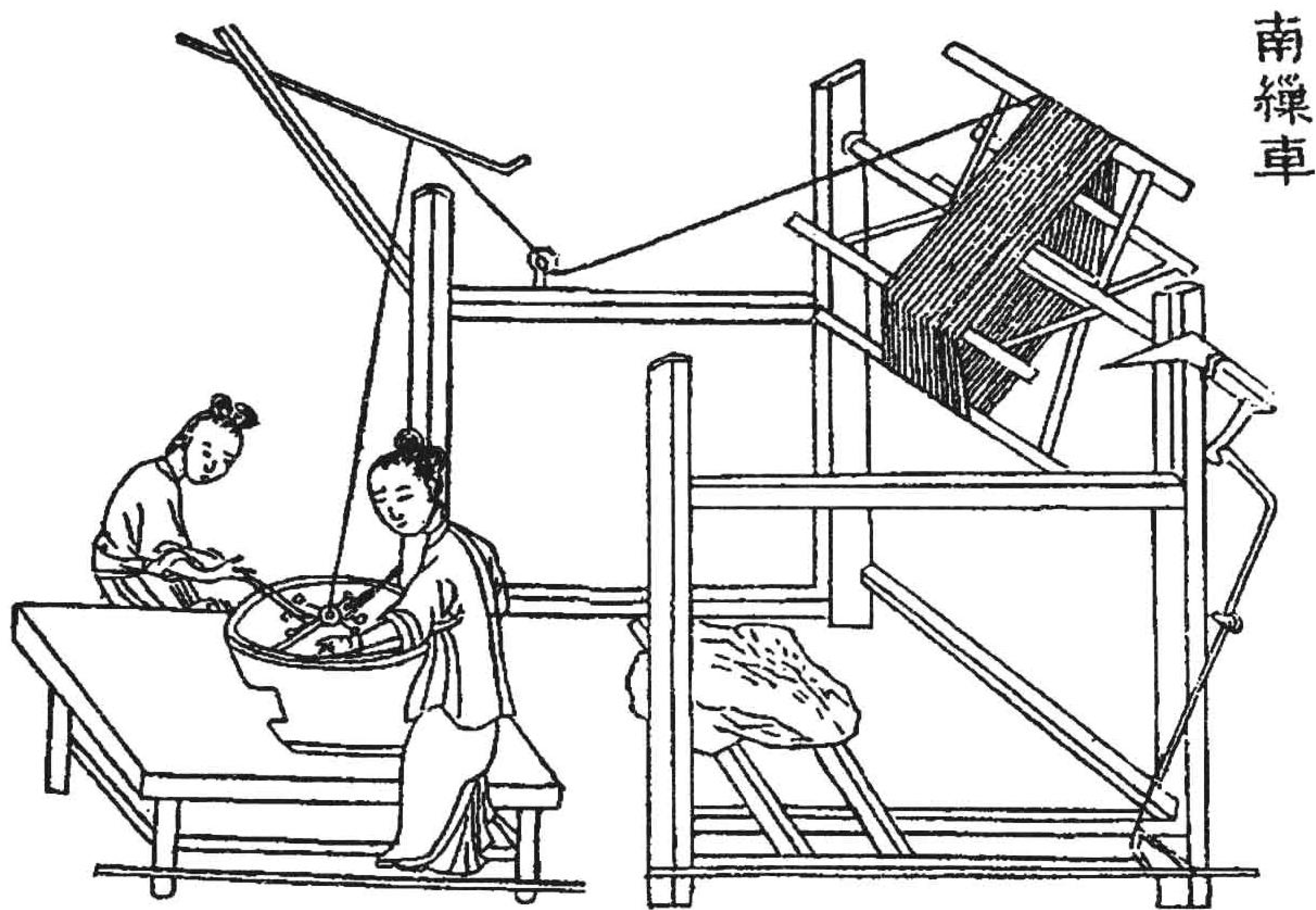
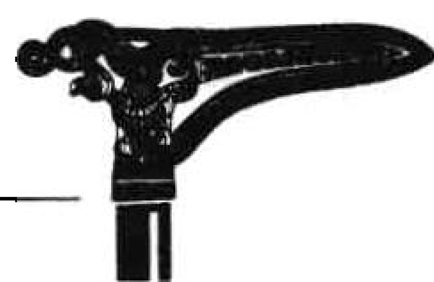



**图7－4－2　王祯《农书》所载南缫车**

元代缫丝用水亦有热水和温水两种，王祯《农书》卷二〇分别称之为热釜和冷釜。热釜法主要用于茧量较多和时间较紧迫时。其具体操作，依《农桑直说》所云即是：“釜要大，置于竈上（原注：如釜蒸法，可缫粗丝，单徼者双徼者亦可），釜上大槃甑接口，添水至甑中八分满，可容二人对缫。水须常热，宜旋旋下茧缫之。多则煮损。”“冷盆”是相对于热盆来说的，依《农桑直说》，实际上“亦是火温之”，而非冷水。冷盆的优点是：“可缫全徼细丝；中等茧可换下缴，比热釜者有精神，又坚韧也”[11]。

（四）麻类加工技术

此较值得注意的是：苎麻脱胶法有了较为详细的记载。元司农司《农桑辑要》卷二“苎麻”条载：“最好刈倒时随即用竹刀或铁刀从梢分批开用，手剥下皮即以刀刮其白瓤，其浮上皱皮自去。缚作小䌫，搭于房上，夜露昼曝，如此五七日，其麻自然洁白，然后收之。若值阴雨，即于屋底风道内搭凉，恐经雨黑渍故也。所剥之麻，春夏秋温暖时分绩，与常法同；若于冬月，用温水浸润，易为分擘，不





然干硬难分。其绩既成，缠作缨子于水瓮内浸一宿，纺车纺讫，用桑柴灰淋下。”这是我国古代文献中，关于苎麻脱胶操作的一段较为详细的文字。其要点是夜露昼曝，冬月则温水浸泡。前引《诗·陈风·东门之池》虽说苎亦可沤，但具体操作不明，这里却提供了一段较为详明的文字，可知其与大麻脱胶存在不少区别。

## 二、纺车技术的重要发展

此期纺车技术的发展主要表现在：出现了多种不同用途的纺车，仅王祯《农书》便载有两类4种。第一类1种，即脚踏式木棉纺车，用来纺制木棉；第二类3种，锭数较少的叫“小纺车”，锭数较多的叫“大纺车”，还有一种水力推动的叫“水转大纺车”，此第二类都是用作丝、麻加捻、合股的。其中较值得注意的是木棉纺车和水转大纺车。

### （一）脚踏式木棉纺车的发展

如前所云，由《南州异物志》来看，棉纱纺车在闽广地区有可能三国时期便已发明，但在中原地区，却是宋末元初之后才逐渐推广开来的。对其具体形态的描述则首见元王祯《农书》，其卷二一“纩絮门·木棉纺车”载：“其制比麻苎纺车颇小，夫轮动弦转，莩维随之；纺人左手握其棉筒，不过二三续于莩维，牵引渐长，右手均撚，俱成紧缕，就绕维上。”（图7－4－3）可见：（1）此纺车的脚踏机构由踏板、凸块、曲柄三部分组成，操作较为简单。（2）此纺车的纺纱机构与手摇式相似，主要由绳轮、锭子等组成。（3）此纺车设有3锭，生产率是较高的。欧洲在18世纪产业革命前，曾有人发明过两锭纺车，但能操作这种纺车的人甚为罕见。宋、元棉纺技术在世界上是遥遥领先的。

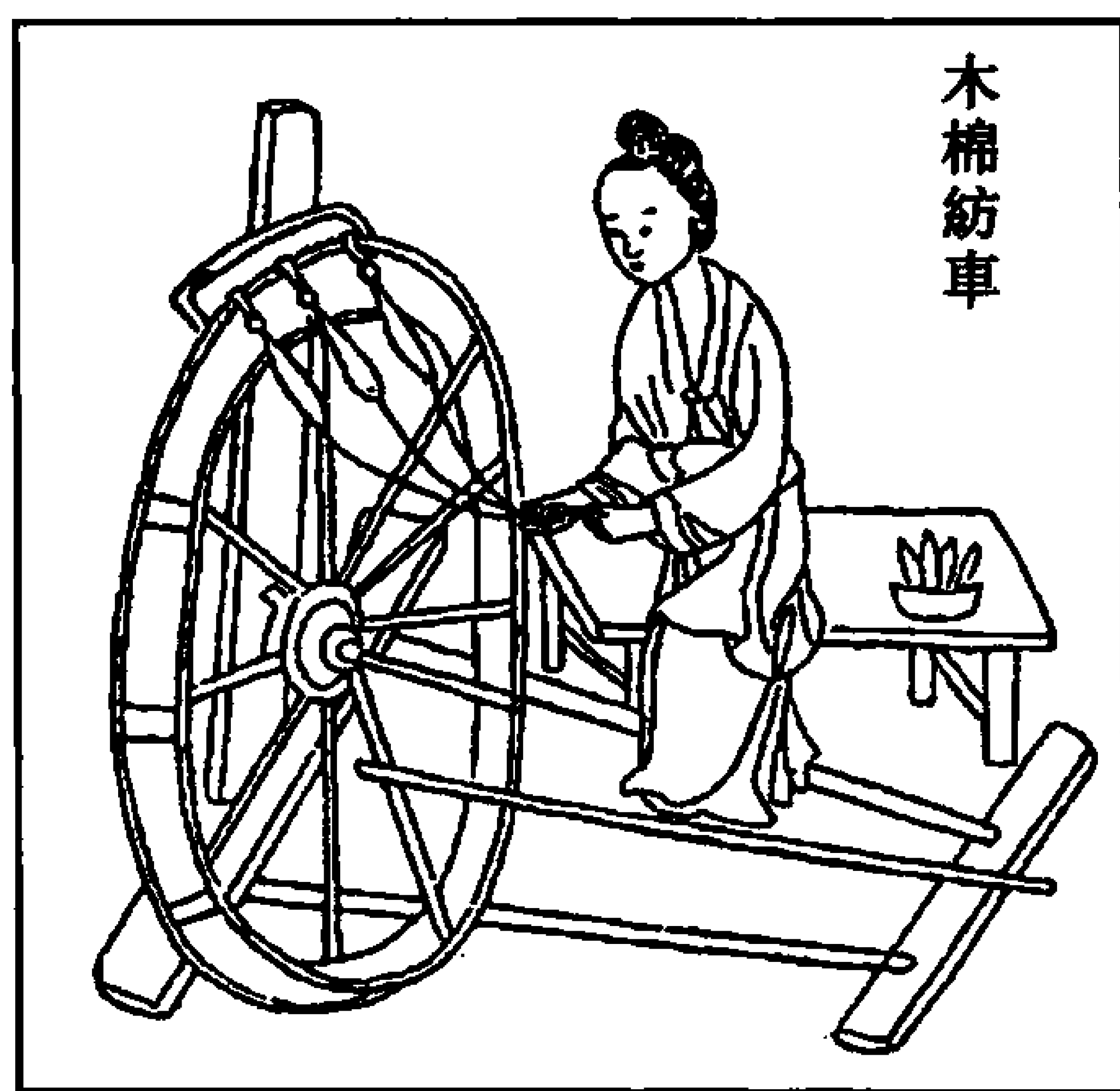


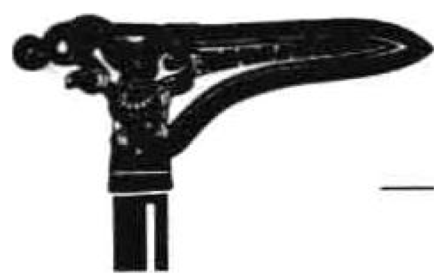

图7－4－3　王祯《农书》所载脚踏式三锭木棉纺车

为了棉纱合股均匀、防止互相绞结，并提高生产率，当时还使用了一种名为“木棉线架”的机械，以控制各纱缕的张力。据王祯《农书》卷二一所载，其结构是：“以木为之，下作方座，长阔尺余，卧列四維，座上凿置独柱，高可二尺余，柱下横木长可二尺，用竹篾均列四弯，内引下座四缕，纺于车上，即成棉线。旧法先将此維络于籰上，然后纺合；今得此制，甚为速妙”。

### （二）水转大纺车的推广

如前所云，我国水转大纺车约发明于宋，但有关记载却是到了元代，才在王祯《农书》中看到的。该书卷一九谈到水力机械时，曾专设了一个名为“水转大纺车”的条目，介绍过它的动力部分；卷二二谈到麻苎纺织时，又专设了一个“大纺车”的条目，介绍了它的纺纱部分。

王祯《农书》卷二二“麻苎门·大纺车”条着重介绍了加捻捲绕机构：“其制长二丈余，阔约五尺，先造地柎木框，四角立柱，各高五尺，中穿横桄，上架枋





木，其枋木两头山口，卧受捲纑，长轩铁轴次于前，地柎上立长木座，座上列臼，以承镟底铁簨（原注：其镟用木车成箭子，长一尺二寸，围一尺二寸，计三十二枚，内受缠），镟上俱用杖头铁环，以拘镟轴，又于额枋前排置小铁叉，分勒绩条，转上长轩。仍就左右别架车轮两座，通络皮弦，下经列镟，上椤转轩、旋鼓。或人或畜，转动左边大轮。弦随轮转，众机皆动。上下相应，缓急相宜，遂使绩条成紧，缠于轩上。昼夜纺绩百斤。”（图7-4-4）其中，桄，此指连接四个立柱的横木。枋，车架上方左右两边起连接作用的横木档。纑，麻缕。轩，纱框，常为六边形或四边形。臼，此指木质轴承。镟，锭子。铁簨，锭子底部的铁锭杆。“置小铁叉，分勒绩条”，是为了使各麻缕在加捻捲绕过程中，不致发生互相纠缠。旋鼓，即鼓状木轮。

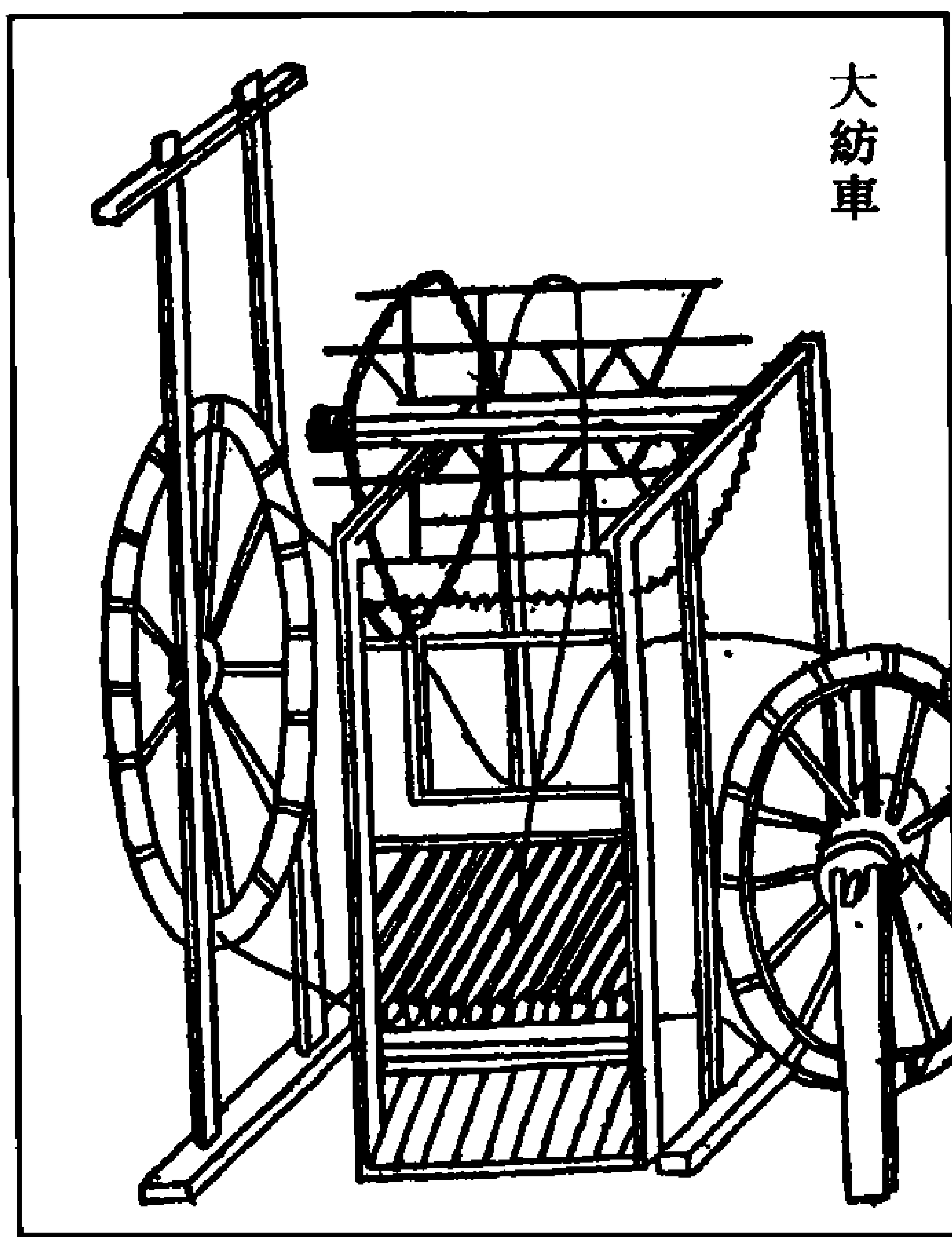


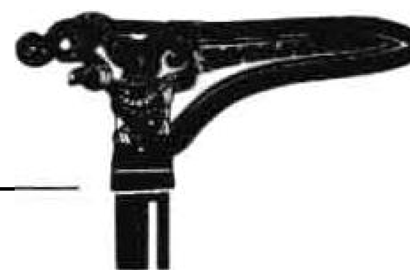

图7-4-4 王祯《农书》所载大纺车

可见这是一种32锭，日纺麻量百斤的大纺车。此纺纱机构由车架、锭子、导纱棒、纱框等组成。其传动机构包括两部分，一是传动锭子，二是传动纱框，以完成加捻和卷绕麻缕的任务。其动力有人力、畜力、水力。

王祯《农书》卷一九专门设条对“水转大纺车”做了介绍：“所转水轮，与水转辗磨之法俱同，中原麻苎之乡，凡临流处所多置之。”整个纺车由原动、传动、加捻卷绕三部分组成。西方水力纺车是18世纪后期的事。1769年，英国人瑞恰德·阿克莱（Richard Arkwright）发明了水力纺车并建立了欧洲第一个水力纺纱厂。

无论人力、畜力或水力大纺车，都是既可用于麻，亦可用于丝的合股和加捻的，但丝纺车的尺寸稍小。王祯《农书》卷二二在谈到大纺车时还说：“又新置丝线车一，[制式] 加上（大纺车），但差小耳。”其意十分明白。

元时，人们使用4种不同的纺车，满足了棉纺引纱、丝麻加捻合股等不同需要，说明人们对许多机械原理，都有了较深的认识。如：（1）对传动比和工作性质的认识。我们知道，纺车做功，是通过绳轮来传动的。因锭子直径一般较小，故绳轮直径之大小，就成了影响传动比的关键因素。绳轮越大，传动比就越大，锭子转速就越快，便可较大地提高生产率。但传动比之大小，又受到纺车工作性质的制约。若纺车的功能只是加捻、合股，如麻纺那样，绳轮直径便可做得稍大一些。但若纺车需要引出棉纱来，如棉纺那样，绳轮直径便不宜过大。否则，锭子的转速过大，就会牵引不及，使棉纱捻度过高而易于断纱。棉纺车与麻纺车同时存在，说明人们对绳轮大小与传动比及纺车工作性质间的关系已有了较深认识。（2）对锭子数与工作性质的认识。我们知道，纺纱过程中，纱与纱之间是很容易互相纠缠的；为此，务必使之互相隔开。而棉纺以手牵引，只能间隔4支纱，故棉



纺之锭子至多只有4枚。麻纺则与此不同，其只需将一根或数根麻缕加捻或合股，无需引纱并拉细，故王祯《农书》中的小纺车也可具有5个锭子。这说明人们对锭子数与纺车工作性质间的关系也有了较好的认识。

**三、丰富多彩的织物品种和加金织物的发展**

元代织机具已较完善，各项分工亦较精细。从宋末元初薛景石《梓人遗制》所述来看，当时的织机具主要有：华机子（提花机）、立机子（立织机）、布卧机子（织造麻、棉布的平织机）、罗机子（织罗机）等。此立机子的机架是直立的，上端顶部有经轴（滕子），经纱片向下展开，通过豁丝木（分经木），两头有吊综杆（其形似马头）。由吊综绳接于综框，再连接于长短踏板。双脚踏动两块踏板，牵动马头上下摆动，便可完成交换梭口和引纬打纬。其系平素织机（图7－4－5）。由于织造、印染技术的提高，以及多元文化的发展，使元代织物品种显得异常的丰富多彩。从实物考察看，当时的丝织物品种主要有：锦、绫、缎、罗、纱、绒、绉、暗花绸及缂丝等，现代丝织物的几种基本组织，元时都已具备。当时江南棉织品亦已较多，今山西省博物馆所藏元代棉布用纱达30号以下，并采用了经重平组织[12]。下面仅介绍锦和加金锦缎两种织物及其工艺。

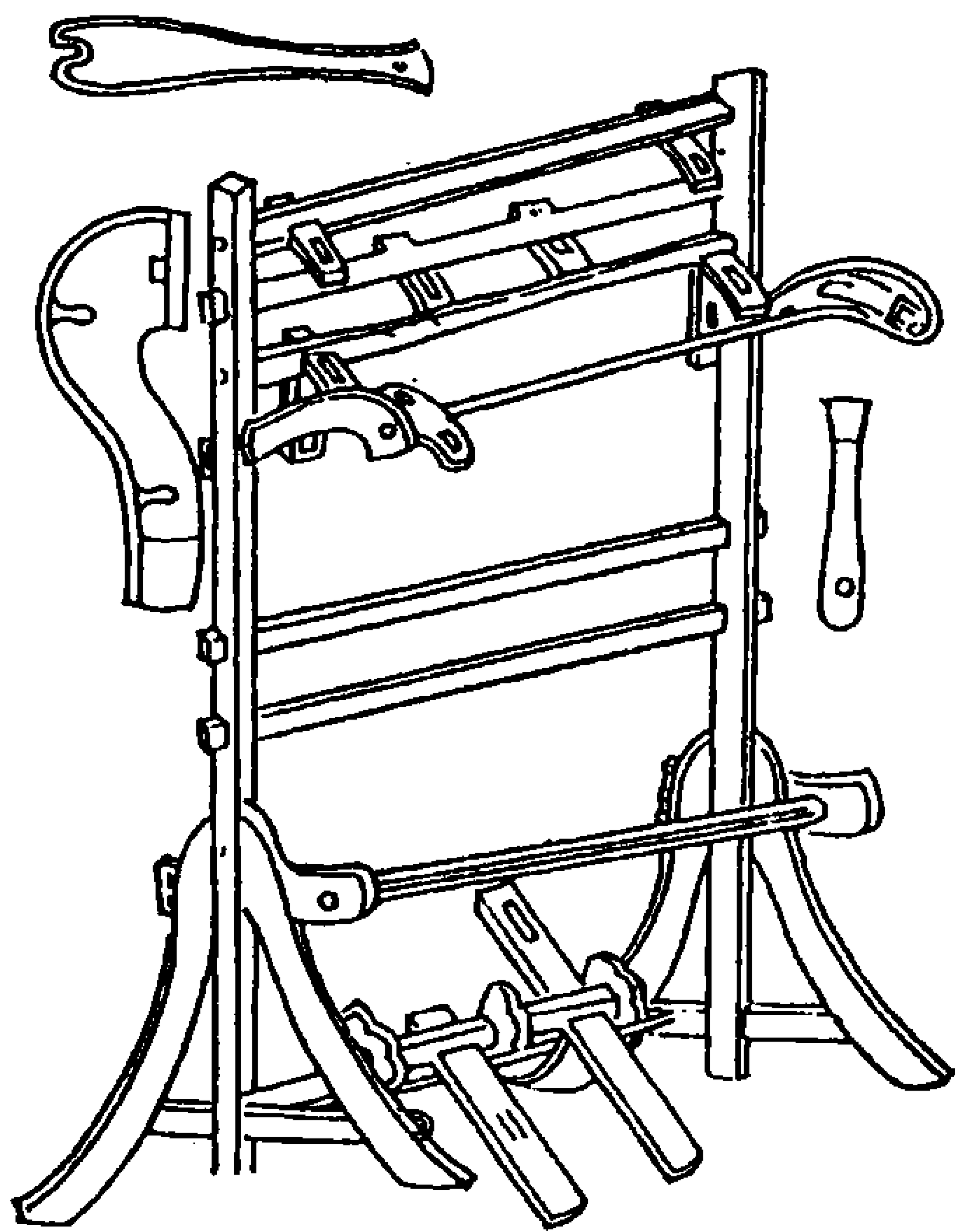


图7－4－5　《梓人遗制》所载立织机

锦。其多承唐宋传统，多为重纬组织。元集宁路故城曾出土一件提花织锦，在组织结构上采用了对称穿吊的方法，以斜纹为基础，用黄、蓝两色纬丝起花，起花部分的长纬用乙经将纬纱压下。经纬密48根/厘米×36根/厘米，花本的最少根数经向为926根，纬向为1937根[13]。元陶宗仪《辍耕录》卷二三“书画褾轴·锦褾”条所列元锦等织物的花色品种计50余种，如克丝作楼阁、克丝作龙凤、紫小滴珠方胜鸾鹊、红遍地芙蓉、红七宝金龙等，可谓其名目繁多，其中有的名称是从宋代沿袭下来的。值得注意的是，在陶宗仪所说的50余种锦褾类织物中，当多数属锦，但也有的已超出了锦的范围。

加金锦缎。朝廷对金织物甚为重视，并收罗了大批西域织金工，在弘州（今山西境内）等地设局织造。《元史》卷一二〇“镇海传”载：镇海“先是收天下童男童女及工匠置局弘州，继而得西域织金绮纹工三百余户……皆隶属弘州，命镇海世掌焉”。此期加金织物主要有加金锦、加金缎两种，这种以金丝织成的锦缎元代又谓之“纳失失”或“纳石失”。据云，此名系原于波斯语。明叶子奇《草木子》卷三“杂制篇”载：“官民皆带（戴?）帽……衣服贵者用浑金线为纳失失。或腰线绣通神襕，然上下均可服，等威不甚辨也。”[14]说明元代官民服加金织物较为普遍，生产量也较大。因金丝的织入，使织物获得了特殊的光泽效果。

织金所用金丝有捻金和片金两种，片金系金箔剪切而成；捻金又称圆金，是将金片加捻或将金片包绕在丝线外而制成的。1979 年，乌鲁木齐市南郊盐湖元墓曾出土过片金锦和捻金锦两种金织物，其经线皆系蚕丝，皆分单经和双经（以两根经丝同时交织）。片金锦的地纬仍用蚕丝，纹纬则是片金和彩色棉线；片金宽 0.5 毫米，彩色棉线直径 0.6 ~ 0.75 毫米。单经与纹纬成平纹交织，双经则与地纬成平纹交织；在显花处，双经被夹在中间而成为暗经。经纬密为 52 根/厘米 × 48 根/厘米。此捻金锦以棉线作地纬，以两根平行的捻金线为纹纬，单经与纹纬成一上三下的斜纹交织，双经则与地纬成平纹交织，经纬密为 65 根/厘米 × 40 根/厘米[15]。片金织入的特点是：以单丝覆盖和固结金线，使黄金的颜色在织物表面得以充分体现；捻金织入的特点则是金色较为柔和。

加金和印金织物都是元代颇具特色的织品，它之兴盛，一方面反映了蒙古等北方民族的欣赏习惯和元统治者之挥霍无度；另一方面与其战争掠夺、海外贸易和发行纸币等途径而获取了大量黄金也是密切相关的。印金织物下面再谈。

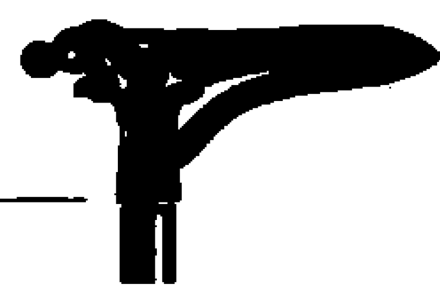
**四、漂练和印染技术的发展**

（一）漂练技术

元代以前的漂练工艺主要是灰水浸泡、捶捣、日晒；元、明时期，技术上有了较大提高，其中最值得注意的是：丝类织物中使用了生物化学脱胶法，麻类纤维中使用了硫黄漂白法，以及石灰与草木灰混合脱胶法。这在元末明初《多能鄙事》、元人伪撰《格物麤谈》等中都可看到。

《多能鄙事》卷四“服饰类 · 洗练法”条谈到过丝织物的多种漂练法，其中较值得注意的是如下两种：（1）“练绢法。凡（先?）用醶柔柴灰，或豆秸荞麦杆（秆）灰，或箬中硬柴白炭灰，煮熟了，然后用猪胰练帛之法。须候灰火滚（时）下帛，候沸，不住手转，勿过熟，过熟则烂；勿夹生，夹生则脆。验生熟，以所煮绢就手扭些，随手散即未熟；再煮，候扭住不散为度。”因帛有胶则挺，若能拉住不散，表明帛已不挺，则脱胶已足。（2）“用胰法。猪胰一具，同灰捣成饼，阴干，用时量帛多少。剪用稻草一条，折着四指长条，搓汤浸帛。如无胰，只用瓜蒌，去皮，取酿剁碎，入汤化开，浸帛尤好。”[16]《多能鄙事》一般认为是刘基（1311 ~ 1375 年）所作，刘基于洪武八年去世，故此书大体上反映了明初以前的一些情况。可见此时人们已使用了胰酶生物化学脱胶法，扩展了豆秸、荞麦秆灰等作为练液原料，并形成了一整套检验练绢生熟的质量标准。尤其是胰酶脱胶法，是我国丝绸漂练技术的一大发明。瓜蒌也是富含蛋白质的，它的使用显然也是一种生物脱胶技术[17]。这在明代部分还要谈到。

我国古代麻类纤维的沤练技术在《齐民要术》等中已有一些记载，但在苎麻精练方面，则以元司农司《农桑辑要》所述为详，其卷二“苎麻”条载：“其绩既成，缠作缨子，于水瓮内浸一宿。纺车纺讫，用桑柴灰淋下水，内浸一宿，捞出。每纑五两，可用一净水盏，细石灰拌匀；置于器内，停放一宿；至来日择去石灰，却用黍秸灰淋水煮过，自然白软。晒干，再用清水煮一度，别用水摆拔极尽晒干，逗成纑，铺经纬织造，与常法同。”此详细地谈到了苎麻漂练工艺，其练液是桑柴灰水、石灰水、黍秸灰水，或煮或沤；之后过清水、晒干。因桑柴灰、黍秸灰富



含碳酸钾，与消石灰作用后，会生成强碱氢氧化钾，从而获得较好的精练效果。王祯《农书》卷二二“农器图谱·麻苎门”还谈到过南方漂练苎麻脱胶的一个方法，虽操作较为简便，但仍有较高的实用价值。其说“苎亦可沤。问之南方造苎者，谓苎性本难𫄨，与沤麻不同，必先绩苎以纺成纑，乃用干石灰拌和累日（夏天三日，冬天五日，春秋约中），既毕，抖去，别用石灰煮熟待冷，于清水中濯净。然后用芦帘平铺水面（如水远则用大盆盛水。铺芦帘或草摊，纑浸曝，每日换水亦可），摊芦于上，半浸半晒，遇夜收起，沥干，次日如前。候纑极白，方可起布。此治苎池沤之法，须假水浴日曝而成，北人未之省也”。此工艺与《考工记·㡃氏·湅帛》的水湅工艺有些接近，都强调水漂、日晒，但此记述更为详细。《考工记·㡃氏》所说为湅帛，要用蜃灰；此述为练苎麻，所用为石灰，且要“煮熟”。王祯《农书》说到了桑柴灰与石灰混用，此只说到了石灰。

元人伪撰《格物麤谈》卷下“服饰”还谈到了麻类织物的硫黄漂白法，其云：“葛布年久色黑，将葛布洗湿，入烘笼内铺着，用硫黄薰之即色白。”[18]这是今日所知关于硫黄漂白的较早记载。以硫黄熏白，时至21世纪，民间仍有使用。

（二）染色技术

元代印染技术也取得了较大成就，一是色谱的扩展，二是媒染法之内容更为丰富。这在元末陶宗仪《辍耕录》和明初刘基《多能鄙事》中都可看到。《辍耕录》卷一一“调合服饰器用颜色”计列有40余种色彩，其中属褐色者便有20种，如荆褐、艾褐、鹰褐、银褐、珠子褐、藕丝褐、露褐等，这一方面说明了时人对褐色之青睐，但更重要的是说明了人们对颜色区分之细和色谱之扩展。陶宗仪生卒年不详，元至正间进士不第，明洪武间曾任教官。此书之前有元末至正二十七年（1367年）序。《多能鄙事》卷四“服饰类·染色法”谈到的染色方法有：染小红、染枣褐、染椒褐、染明茶褐、染暗茶褐、染艾褐、用皂矾法、染搏褐、染青皂法、染白皂法、染白蒙丝布法、染铁骊布法、染皂巾纱法等，其中染“褐色”者将近半数。所云多为媒染法，媒染剂除了明矾、绿矾、铁浆、草木灰外，此时还新添了黄丹。单色染多用明矾预媒，绿矾后媒的多媒工艺；复色染则多用二俗法套染[19]。常通过拼色、套色来改变色调。如用黄栌木与皂斗拼色，经白矾或绿矾媒染，可得到暗茶褐色；苏木与皂斗拼色，经白矾或绿矾先后媒染，可得椒褐色；以荆叶与皂斗拼色，再用白矾和皂矾分先后媒染，可得艾褐色；后人的矾类媒染剂用量，可视所需色泽深浅来配入。其中的染小红法至为复杂，需先用苏木、黄丹、槐花染料拼色，后以明矾为媒染剂，套染小红，“染后分头令干，其色鲜明甚妙”。同时还谈到了加温操作，这对加速染色过程，提高制品质量都是很有帮助的。

（三）印花技术

元代印花技术中有染缬和印金等种，其中稍具特色的是印金。

早在西汉时期，金银色颜料印花便已较为成熟[20]，唐代使用得更加普遍[21]，金元时期则盛极一时。基本操作是：利用金箔或金屑，制成金泥，加上粘结剂后，用绘画或压印方式，装饰到织物表面上去，就成了印金或描金类织物。1976年，内蒙古自治区集宁市东南郊出土了一批元代丝织品，其中不少是印花装饰的，计有印金夹衫、印金提花长袍、印金被面、印金素罗残片、印金素罗残带各1件，印

金绢残带2件。这些印花织物都是提花绫和纱罗组织，皆先在织物上印出金花，之后再剪裁缝纫。其中的印金提花长袍为蓝色地的斜纹提花绫，经纬密为48根/厘米×36根/厘米。袍用两匹提花绫裁剪，都是缠枝牡丹花。衣料上印制的金花每朵2厘米×2.3厘米，8朵为一组，每组有牡丹、莲花、菊花、草花等。印花的基本做法是：先在雕有花纹图案的凸版上涂金，之后直接印在织物上；也可先在凸版上只涂刷粘结剂，并把它印到织物上，之后再粘贴金箔、金粉，经烘干烫干后，剔除多余的金粉或金箔，并修整。[13][22]从出土实物看，宋代印金多施于衣物边部，元代则遍施于整件衣物，故显得更加富丽、华贵。

## 第五节 机械技术

元代机械在继续沿用先世技术的基础上，也取得了一些新成就，其中比较值得注意的是：鼓风机械中出现了关于风扇的图像；纺织机械中发明了水力大纺车；排灌机械中，龙骨车、高转筒车等的构造都有了较为明确的记载，并使用了畜力筒车；粮食加工中，发明了兼具磨碾砻三种功能的水轮机械和水击面罗。农学巨著王祯《农书》中较为详细地介绍了许多农业、手工业机械的结构，并附有插图，为我们了解元及其之前的机械技术提供了很有价值的资料。与宋代同样，元代的造船和航海技术依然保持在较高的水平上。下面仅依工作性质分类，介绍几种简单机械的情况，鼓风器具和大纺车已分别在冶金和纺织部分做了介绍。

### 一、排灌机械

此期排灌机械中，较值得注意的主要是龙骨车、筒车和井式水车。

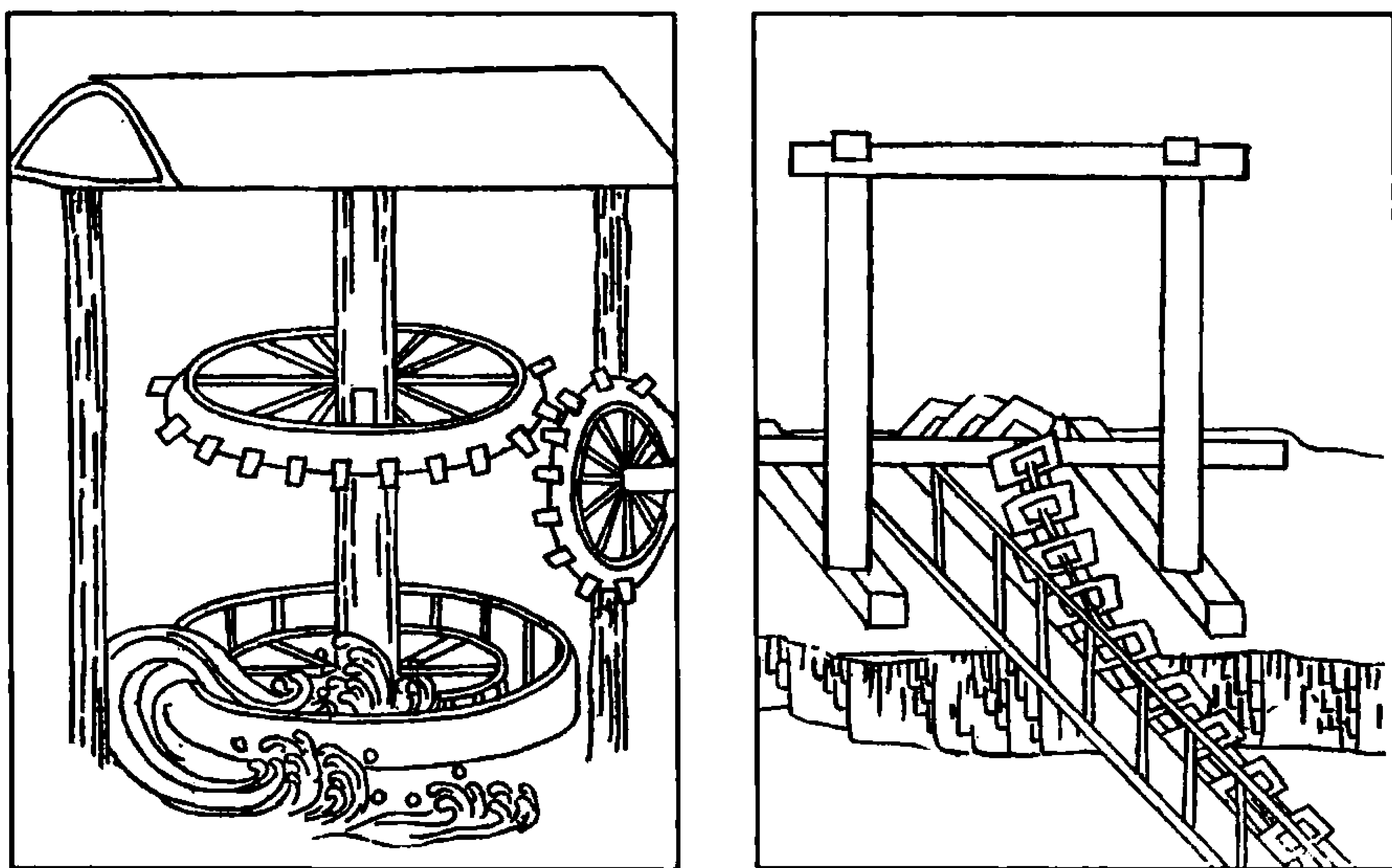
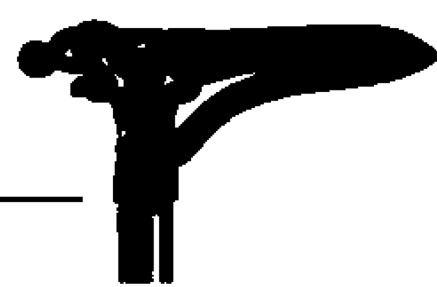


图7-5-1 王祯《农书》所载卧式水转龙骨车

龙骨车。约发明于北宋[1]，元代才有了较为详明的记载。元代龙骨车的动力有人力、畜力和水力三种，王祯《农书》卷一八“农器图谱·灌溉门”皆曾提及。



在谈到水转龙骨车时，王祯云："其制与人踏翻车俱同，但于水流岸边，掘一狭堑，置车于内，车之踏轴外端，作一竖轮；竖轮之旁，架木立轴；置二卧轮，其上轮适与车头竖轮辐支相间；乃擗水傍激，下轮既转，则上轮随拨车头竖轮，而翻车随转，倒水上岸，此是卧轮之制。若作立轮，当别置水激立轮，其轮辐之末，复作小轮，辐头稍阔，以拨车头竖轮，此立轮之法也"。在此，王祯说的"翻车"即是龙骨车。这里谈到了卧轮式（图7-5-1）和立轮式两种水转龙骨车的构造。前者的主动轮有上下两个卧轮，从动轮为一立式轮。同书同卷还介绍了牛转龙骨车。其不管牛转还是水转，都使用了齿轮传动。

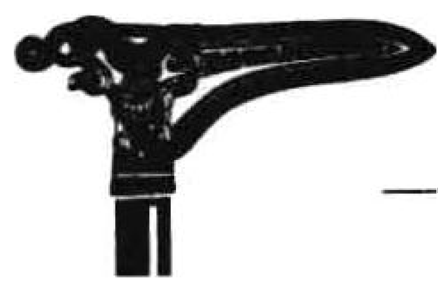
前面谈到，汉代、宋代，及至清代，"翻车"一般都是指筒车的，王祯在此却将翻车说成了龙骨车。我们认为，若王祯之说无误的话，那也只能是部分时段、部分地区的现象。

卫转筒车和高转筒车。筒车约发明于汉，唐、宋时期进一步推广开来。其始主要是水动，即水转筒车；为适应不同的地理条件，之后又出现了人力和畜力推动者，相应地便产生了"高转筒车"和"卫转筒车"。如前所云，高转筒车约出现于三国时期，即马钧所造者，卫转筒车的发明年代不详。古代文献中，这两个名称都是到了元代才看到的。在此有一点需指出的是：依照古人的习惯，单言"筒车"时，便指水转筒车，无须另外的传动件；高转筒车则属"链传送"（链搬运），卫转筒车则是齿轮传动的。

卫转筒车即驴转筒车，卫，驴的别称。唐《雲溪友议》八："南中丞卓，吴楚游(遊)学十余年，衣布缕，乘牝卫，薄游(遊)上蔡。"元王祯《农书》卷一八"农器图谱·灌溉门"载："卫转筒车"的主动轮为卧轮；从动轮为立轮，带动立式汲水轮。基本结构与水转筒车相同，"但于转轴外端，别造竖轮；竖轮之侧，岸上复置卧轮……凡临坎井，或积水渊潭，可用浇灌園圃，胜于人力汲引"。

高转筒车是一种人力或畜力推动的链筒式汲水机械。王祯《农书》卷一八"农器图谱·灌溉门"载："高转筒车，其高以十丈为准，上下架木，各竖一轮；下轮半在水内，各轮径可四尺。轮之一周，两傍高起，其中若槽，以受筒索。其索用竹均排三股，通穿为一，随车长短，如环无端。索上相离五寸，俱置竹筒。筒长一尺，筒索之底，托以木牌，长亦如之。通用铁线缚定，随索列次。络于上下两轮，复于二轮筒索之间。刳木平底行槽，一连上与一轮相平，以承筒索之重。或人踏，或牛拽转上轮，则筒索自下兜水循槽，至上轮轮首覆水，空筒复下，如此循环不已。"若"再起一车，计及二百余尺，田高岸深，或田在山上，皆可及之"（图7-5-2）。可见此高转筒车系由两个立轮、木架、筒索、平底行槽等组成。下立轮为从动轮，半浸于水中，以取水。而且这还是一种可多车叠加使用，将水逐层提到二百多尺的有效器械。可用人力，亦可用畜力驱动。"用人力则于轮轴一侧作棹枝，用牛则制作竖轮，如牛转翻车之法，或于轮轴两端作拐木，如人踏翻车之制"。此"翻车"指龙骨车。

井式水车。至迟始见于唐，元熊梦祥《析津志辑佚·古跡·施水堂》也有记述，说京师乃人马之宫，城广地大，"而马匹最为负苦，其思渴尤甚于饥者。顷年有献施水车……其制随井浅深，以口硧水车相衔之状，附木为戽斗，联于车之机，





直至井底。而上人推平轮之机，与主轮相轧，戽斗则顷于石砚中，透出于栏外石槽中。自朝暮不辍，而人马均济；古无今有，诚为可嘉”[2]。这记述也较简单。与前述唐代井车不同处是，唐盛水器为木桶，当为圆形；此却为木戽斗，当为方形或长方形。有学者依此分别称之为“筒式水车”和“木斗水车”。

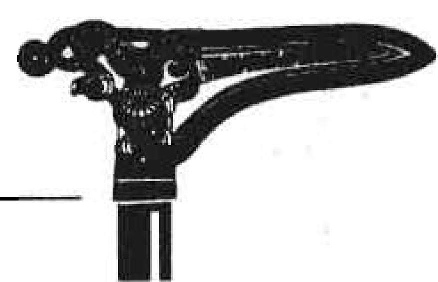
图7-5-2　王祯《农书》所载高转筒车

图7-5-3　流传至今的斗链井式水车
采自文献[3]

前面提到，古代机械链大体包括两种类型，即传动链和传送链。属传动链的大约只有苏颂浑仪中的天梯等少数机械；而龙骨车、高转筒车、井式水车等上所见者，实际上都是传送链。这两种链的区别是：（1）材质不同。传动链及其链轮多金属质，传送链则多皆木质。（2）功能不同。传动链只是单纯地传递动力，自身一般不做功；传送链则主要是搬运、传送水等物品。所以此两者是不可等同的。

斗链井式水车直到20世纪还在我国一些地方保留着，有的依然较为原始，有的则经过了一些改良。其中一种如图7-5-3所示，主动轮为一卧式大齿轮，与之相衔的从动轮是一个立式齿轮；立式齿轮再通过轮轴与另一立式大轮相连。一个个木斗是用小横轴连成环链状的，环链的上端便绕在立式大轮上，立式大轮置于井口之上方。用畜力通过拉杆，便可带动卧式大齿轮（主动轮）、立式大齿轮（从动轮）、立式井口大轮转动，盛水木斗便不断地将水从井中提起，并倾于水簸箕里[3]。

在此有一点需指出的是，及至元代，齿轮传动在排灌机械中已使用得十分广泛，王祯《农书》中所载水转龙骨车、牛转龙骨车、卫转筒车，以及《析津志辑





佚》中的井式水车等，都使用了齿轮传动。

## 二、粮食加工机械

王祯《农书》提到的粮食加工机械有水磨、水碾、水砻、槽碓、机碓、船磨、水轮三事、水转连磨和水击面罗等，其中较值得注意的是后三者，它们都是元代首次见于记载的。

水轮三事。这是一台兼具了磨、碾、砻三项工作的水转轮轴机械。元王祯《农书》卷一九“农器图谱·利用门”在提到其制作法时说：“初则置立水磨，变麦作面，一如常法。复如磨之外周，造碾圆槽；如欲毇米，惟就水轮轴首，易磨置砻；既得糲米，则去砻置碾，碢榦循槽碾之，乃成熟米。夫一机三事，始终俱备。”

水磨。简单的水磨大凡一个水轮只带动一张磨盘，其主动轮可为卧式，也可为立式；稍见复杂者则一个水轮可带动两张或多张磨盘，王祯《农书》卷一九“农器图谱·利用门”先介绍了单盘卧轮水磨，接着便介绍了“连二磨”和“水转连磨”。

“凡欲置此磨，必当选择用水地所，先作并岸擗水激轮，或别引沟渠，掘地栈木，栈上置磨，以轴转磨，中下彻栈底，就作卧轮，以水激之，磨随轮转，比之陆磨，功力数倍。此卧轮磨也。”这便是水转卧轮单磨。

同书同条接着说：“又有引水置闸，甃为峻槽，槽上两旁，植木作架以承，水激轮轴，轴腰别作竖轮，用击在上卧轮一磨，其轴末一轮旁拨周围木齿。一磨既引水注槽，激动水轮，则上傍二磨，随轮俱转，此水机巧异，又胜独磨，此立轮连二磨也。”此即“连二磨”，显然这是齿轮传动。明徐光启《农政全书》卷一八亦引用了这段文字（图7-5-4）。

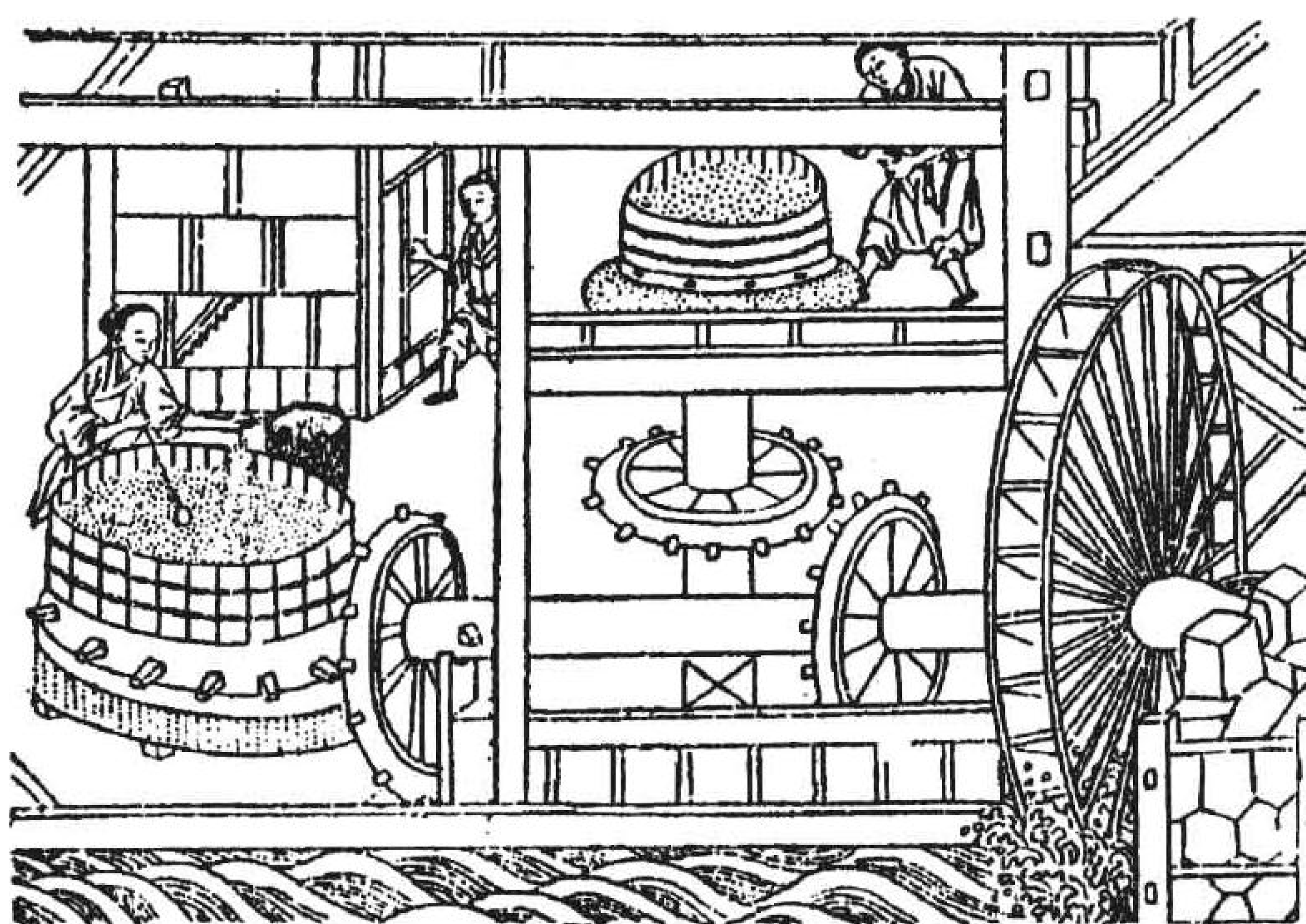


**图7-5-4　明徐光启《农政全书》所载连二水磨**

同书同卷还谈到了一个水轮带动多盘磨的“水转连磨”。王祯《农书》卷一九载：“水转连磨，其制与陆转连磨不同。此磨须用急流大水，以湊水轮。其轮高阔，轮轴围至合抱，长则随宜。中列三轮，各打大磨一槃，磨之周匝俱列木齿。磨在轴上，阁以板木。磨傍留一狭空，透出轮幅，以打上磨木齿。此磨既转，其齿复傍打带齿二磨，则三轮之功，互拨九磨。”这便是水转连磨，即一架水轮通过齿轮传动，带动九盘磨，但只宜于急流大水处。明徐光启《农政全书》卷一八原原本本地抄录了这段文字，并重绘了插图（图7-5-5）。

水击面罗。罗是筛面用的一种工具。最简单的罗面法是手摇法，之后才发明了水力推动的“水击面罗”和人力双脚踏动的“脚打罗”。它们都是通过连杆带动面罗往复运动来实现筛面的，都使用了连杆传动。脚打罗与水击面罗的区别是：一个用人的双脚推动，一个用水轮带动。元王祯《农书》卷一九“农器图谱·利



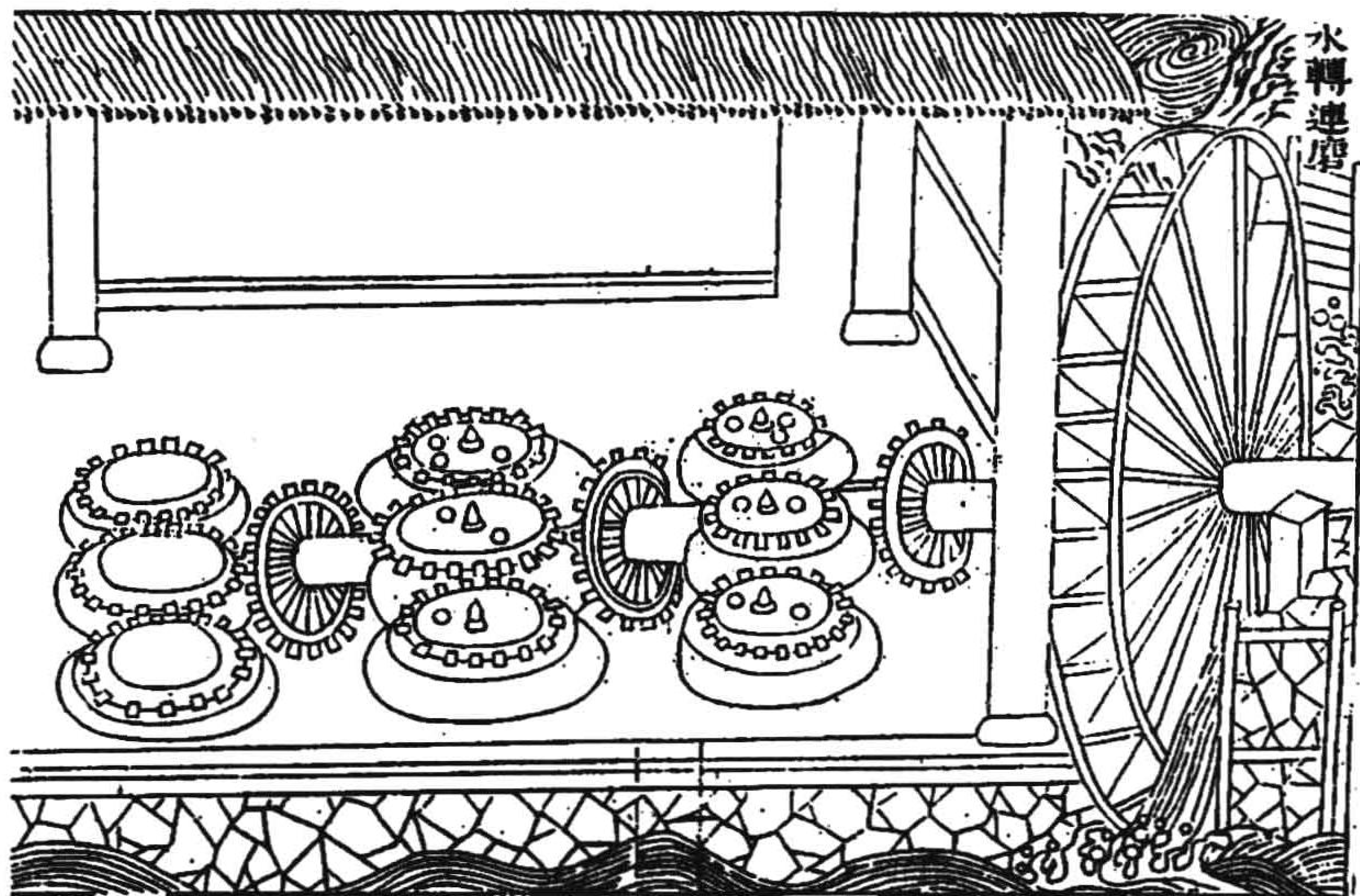




图7-5-5　明徐光启《农政全书》所载水转连磨

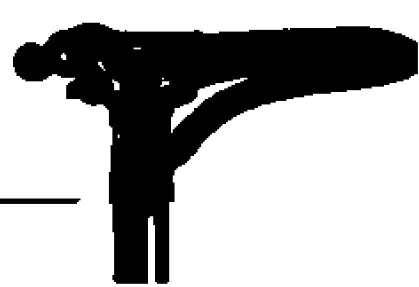
用门”云：“水击面罗，随水磨用之，其机与水排俱同。按图视谱，当自考索。罗因水力互击椿柱，筛面甚速，倍于人力。又有就磨轮轴作机击罗，亦为捷巧。”明《农政全书》卷一八一字不误地转引了这段文字，并重绘了插图。此述为水击面罗。脚击面罗（脚打罗）未知始于何时，是到了明代才在《天工开物》中见于记载的。

### 三、自动报时机械和日用机械

#### （一）自动报时机械

我国古代最为古老的计时器是圭表和日晷，它们都是利用太阳的影子来计时的，其缺点是受天气影响较大。为此，人们又发明了一种铜壶滴漏，它是利用水滴均匀泄漏原理来计时的。在机械钟发明前，这是我国最为重要的计时器。我国最早的机械计时器是和天文仪器结合在一起的，如汉张衡的水转浑天仪、唐梁令瓒等人的开元水运浑天、宋苏颂等人制造的水运仪象台，都把浑仪、浑象和报时装置结合在了一起，其计时部分都采用了复杂的齿轮系统[4]。及至元代，一种独立的计时机械才从复合天文仪器中分离出来，这便是郭守敬的大明殿灯漏。

《元史》卷四八“天文志·大明殿灯漏”载：“灯漏之制，高丈有七尺，架以金为之。其曲梁之上，中设云珠，左日右月；云珠之下复悬一珠。梁之两端，饰以龙首；张吻转目，可以审平水之缓急。中梁之上，有戏珠龙二，随珠俛仰，又可察准水之均调。凡此皆非徒设也。灯毬杂以金宝为之，内分四层；上环布四神，旋当日月参辰之所在。左转日一周。次为龙、虎、鸟、龟之象，各居其方，依刻跳跃，铙鸣以应于内。又次周分百刻，上列十二神，各执时牌，至其时四门通报，又一人当门内，常以手指其刻数。下四隅，钟、鼓、钲、铙各一人。一刻鸣钟，二刻鼓，三钲四铙。初正皆如是。其机发隐于柜中，以水激之。”其中所设张吻转目之龙“可以审平水之缓急”，戏珠二龙“可察准水之均调”，当是一种调控装置。



显然，这是一种水力推动，以齿轮传动为主的自动报时钟，它不但能使四隅木人一刻鸣钟、二刻击鼓、三刻击钲、四刻击铙地报时，而且，还饰有能按时自动跳跃的动物模型。

元顺帝时，宫里又制造了一台报时宫漏。《续文献通考》载：“至正十四年(1354年)，帝自制宫漏，高六七尺，广半之，造木为匮，藏壶其中，运水上下。匮上设三圣殿，腰立玉女捧时刻筹，时至辄浮水而上。左右二金甲神，一悬钟，一悬钲。夜则神人自能按更而击，无分毫差。鸣钟钲时，狮凤在侧者皆自翔舞。匮之东西有日月宫、飞仙女人立宫前。遇子午时，自能耦进，度仙桥达三圣殿，复退立如前。其精巧绝出人意。皆前所未有也。”[5]与大明殿灯漏同样，此至正报时宫漏也是一种水力推动，以齿轮为主的传动体系，同样具有报时、动物模型飞舞应节等功能，但具体构造更为复杂，实际上只能供帝王消遣，在社会上是不能推广的。

（二）几种日用机械的推广

在日用机械中，人们较为关心的是捩轴剪、舞钻、簧片锁等，及元皆进一步推广开来。1976年，河北磁县南开河村发掘了6艘元代木船，船上计出有瓷器、陶器、铁器、铜器、木器、石器、琉璃计486件，以及北宋铜钱45枚、南宋铜钱18枚、元代铜钱2枚。这些器物中，有铁剪3件，其中一件长19厘米；铁锁3把，长12厘米；舞钻2件，其中一件的铁钻头呈方形，钻杆上有3个引绳孔，器长68厘米。这些器物的外形与20世纪50年代的大体一致。木船倾覆的年代上限为至正十二年（1352年）[6]。

**四、航运业和造船技术**

宋代造船技术方面所获得的多方面成就，大凡元代都继承了下来，但技术创新不多。此期造船技术的成就主要表现在下列三方面：

1. 造船规模较大。蒙古人虽以骑兵之骁勇而威震欧亚大陆，但其灭宋之战却是得力于水师的。元朝立国后，在与南宋决战的短短十年内，便先后造战船10800艘。至元七年（1270年），“阿术与刘整言：围守襄阳必当以教水军、造战舰为先务。诏许之。教水军七万余人，造战舰五千艘”[7]。至元十年（1273年），“刘整请教练水军五六万，及于兴元、金、洋州，汴梁等处造船二千艘，从之”。次年，又“造战舰八百艘于汴梁”[8]。至元十七年（1280年），福建行省在泉州造船三千艘[9]。蒙古人还大规模地海外用兵，为征服日本，至元五年（1268年）时，曾诏谕高丽“当造舟一千艘，能涉大海可载四千石者”[10]。至元十一年（1274年）第一次东征日本，出动千料舟、拔都鲁轻急舟等九百艘，“惟虏掠四境而归”。至元十八年（1281年）东征日本规模更大，但遭遇暴风，舟师十万全军覆没[11]。

2. 开创了海上漕运。南宋末年，金履祥便提出了使用自长江口至渤海湾的航线[12]，但元朝初年方付诸实践。据《元史》卷九三“食货一·海运”载：经过三次调整，自长江口至海河口的航线最后确定为：“从刘家港入海，至崇明州三沙放洋，向东行，入黑水大洋。取成山，转西至刘家岛，又至登州沙门岛，于莱州大洋入界河。当舟行风信有时，自浙西至京师，不过旬日而已”。前此，我国漕运主要是依靠运河、内河进行的。

3. 海外贸易的扩展。宋、元皆是我国古代海外贸易的顶峰期，尤其是元代，中国海船经常往来于东南亚、阿拉伯海、波斯湾、非洲东部沿海，及至地中海地区的一些地方[13]。

今见于考古发掘的元代古船至少有三起10艘，即：(1) 1976年在韩国新安海底打捞到的元代海运货船。[14][15]关于此船的国籍，多数学者皆认为是中国，但也有一些其他说法。(2) 1984年，山东蓬莱水城（登州湾）清淤所见3艘元代战船[16]。(3) 1976年河北磁县出土了6艘内河木船[6]。此海运货船、战船、内河木船，正好反映了元代船舶三方面的情况。此三起元代古船，尤其是蓬莱战船，为我们了解元代造船技术的发展提供了许多有益的资料[17]：

1. 新安海运货船和蓬莱战船皆尺寸较大，新安货船残长28米、最大宽度6.8米，分成8舱。蓬莱战船残长28.6米，残宽5.6米，残深0.9米，分成14舱，稍见细长，属于海防用刀鱼战船，当具有较好的快速反应能力。[16][17]磁县木船稍小，其1号船残长8.24米，存6舱；5号船长约16.6米，约分成11舱[6]。

2. 蓬莱战船主龙骨的接合处更为讲究。蓬莱战船的主龙骨支撑尾龙骨和首柱，与宋代泉州、宁波海船大体一致，但蓬莱战船采用了带有凸凹榫的钩子同口连接，榫位长达0.72米，约为泉州、宁波宋船的2倍。尤其值得注意的是，其主龙骨与尾龙骨、首柱的接头处增加了补强材料，长度分别达2.2米和2.1米，断面为宽26厘米、厚16厘米。这较宋代显然是个进步[16]。

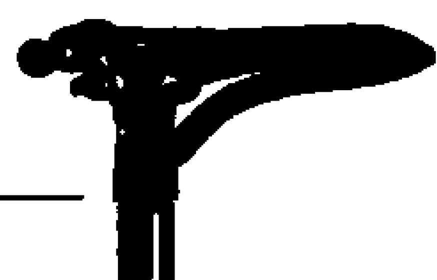
3. 蓬莱战船有13道舱壁，舱壁板厚达16厘米。值得注意的是：其相邻板列不是简单的对接，而是采用凸凹槽对接的，相邻板列凿有错列的4个榫孔，长8厘米、宽3厘米、深12厘米。接合较宋船精细，这更有利于保持舱壁的形状、船体整体刚性，以及水密性。[16][17]

## 第六节 造纸技术

我国古代造纸技术发明于汉，两宋便发展到了较为成熟的阶段，古代造纸业的许多重要技术都已发明出来，元代之后便进入了总结提高的阶段。但因元统治者的掠夺和摧残，使整个社会经济，许多手工业都受到了极大的破坏。虽有活字印刷的发明和一般经史类图书、宗教类图书，以及钞票等印刷的需要，但其造纸技术上亦无大的建树。宋代的不少名纸，如由拳纸、温州蠲纸等都已停产，不少元代纸都质量稍次。此期在造纸技术上较值得注意事项是：

(1) 与金代同样，为抄造宝钞用纸，元代也设有抄纸坊。《元史》卷八五“百官志”载：“抄纸坊，提领一员，正八品；大使一员，从八品。”

(2) 对纸的质量进行了定额和规范式管理，并留下了相应的一些记载。如明人汪舜民（1440～1507年）等修《（弘治）徽州府志》（1502年）卷二“土贡”条在谈到徽州府元代土贡时说：“常岁供官有赴北纸、行臺纸、本道廉访司纸；其纸有三色：曰夹纸、线纸、检纸。其赴北夹纸，岁三百万张。皇庆二年（1313年）省箚坐下金玉府料例，赴北夹纸每千张重五十觔，用白净楮一百五十觔；线纸重每千张三十二觔八两，用白净楮九十斤三两四钱八分；检纸每千张重二十觔，用





净白楮五十五觔四两一钱。续降式样：夹纸每张长二尺四寸，阔二尺；线纸每张长二尺二寸，阔一尺八寸；检纸每张长二尺，阔一尺六寸半；行臺纸、廉访司纸通计岁额口口二十万张，色样不齐，轻重不等。"[1]在三色纸中，检纸尺寸最小，线纸稍大，赴北夹纸则更大一些；大约检纸稍薄，线纸次之，赴北纸稍厚。这是朝廷对徽州府贡纸量和贡纸规格的一种管理，其他产纸地大约也实行了同样的管理。对纸的定额和定式管理大约此前便出现，具体时间待查。

（3）元费著完成了《蜀笺谱》一书[2]，对先世四川造纸技术进行了一些总结，这是我国古代造纸技术上值得重视的事件。

**一、原料选择**

此期的造纸原料主要是树皮、竹类和麻类，其次是草类。

树皮。元费著《蜀笺谱》载："天下皆以木肤为纸。"[2]此说天下普遍采用树皮造纸。同书又说："广都纸有四色，一曰假山南，二曰假荣，三曰冉村，四曰竹纸，皆以树皮为之。"[2]可见，著名的广都纸，也是以树皮为原料的。其中的"竹纸"是指细白且薄的一种纸，并非以竹为原料造成。这显然是从南宋袁说友《笺纸谱》援引过来，这大体反映了宋、元时代的情况。

元代还用桑皮造纸，并用它来印钞。《马可·波罗游记》第二卷第二十四章载："汗八里（今北京）这个城市里有一个大汗的造纸厂，它采用下列工序生产货币纸的技术：他命令人将桑树——它的叶子可以养蚕——的皮剥下，取出介于桑树粗皮和木质之间的一层极薄的内皮，然后将它浸泡在水中，随后倒入臼中，捣烂成糊浆，最后制成纸，其质地就像用棉花制成的纸，不过十分黑。到能使用时，就裁切成一片片大小不一的货币。"[3]1960 年，无锡市南元代墓葬出土 154 件随葬品，其中包括"至元通行宝钞"15 张，便是桑皮纸做成，色灰，原长 27.8 厘米、宽 18.9 厘米。钞面版长 25 厘米、宽 16.4 厘米，面额为"伍百文"，纸币上端自右至左横写"至元通行宝钞"[4]。

麻类。麻依然是元代的重要造纸原料，尤其在四川。元费著《蜀笺谱》载："天下皆以木肤为纸，而蜀中尽用蔡伦法。笺纸有玉版，有贡余，有经屑，有表光。玉版、贡余杂以旧布、破履、乱麻为之。惟经屑、表光，非乱麻不用。"[2]

其他原料使用情况不再列举。

**二、打浆和抄造技术**

打浆技术中值得注意的是水碓舂捣。有关记载始见于宋，元费著《蜀笺谱》亦有大体相类似的说法，但所述更详。云："府城之南五里有百花潭，支流为二，皆有桥焉。其一玉溪，其一薛涛。以纸为业者家其旁。锦江水濯锦益鲜明，故谓之锦江。以浣花潭水造纸故佳，其亦水之宜也。江旁凿臼为碓，上下相接，凡造纸之物，必杵之使烂，涤之使洁，然后随其广、狭、长、短之制以造。研则为布纹，为绫绮，为人物花木，为虫鸟，为鼎彝，虽多变，亦因时之宜。"[2]说明水碓打浆在元代成都亦在使用。

关于元代抄造技术的资料较少。明汪舜民等修《(弘治) 徽州府志》卷二"土贡"条谈到元时向内府所进楮皮纸的生产过程时说："造纸之法，荒黑楮皮率十分，割粗得六分，净溪沤灰腌暴之、沃之，以白为度。瀹灰大镬中煮至糜烂，复

入浅水沤一日。拣去乌丁黄根，又从而腌之。捣极细熟，盛以布囊，又于深溪用辘轳推荡，洁净入槽，乃取羊桃藤捣细，别用水桶浸挼，名曰滑水，倾槽间与白皮相和，搅打匀细，用帘抄成张。榨经宿，干于焙壁，张张摊刷，然后截沓解官，其为之不易盖如此。"[1]这里谈到了造纸的基本过程，其中包括原料选择、灰水沤沃、蒸煮、捣细、打槽、加入纸药、捞纸、焙干等工艺过程，是关于楮皮造纸的较早的资料。其中的"滑水"，即是纸药的水溶液。这是继周密《癸辛杂识》后，再次明确提到纸药的地方。此述楮皮纸工艺只经一次石灰沤腌发酵和煮料、冲洗、捣碎，同时未经日光漂白。后面谈到的明代江西皮纸则较此繁杂。

**三、纸的品种**

元代纸品中，除徽州等贡纸外，较值得注意的主要有：

四川广都皮纸。元费著《蜀笺谱》说，广都皮纸，"广幅无粉者，谓之假山南；狭幅有粉者，谓之假荣。造于冉村，曰清水[纸]；造于龙溪乡曰竹纸，蜀中经史子籍（集），皆以此纸传印。而竹丝之轻细似池纸，视上三色[纸] 价稍贵；近年又仿徽、池法，作胜池纸，亦可用，但未甚精致尔"[2]。此说到了广都皮纸的三个品种，并说龙溪"竹纸"（注：皮纸）曾模仿徽纸、池纸的工艺。可见徽纸在元代已负盛名。这显然引用过前引南宋袁说友的文字。

诸笺纸。纸笺在唐宋便已十分流行，元时还出现了所谓百韵、连四等笺。元费著《蜀笺谱》载："纸固多品，皆玉版、表光之苗裔也。近年有百韵笺，则合以两色材为之，其横视常纸，长三之二，可以写诗百韵，故云。人便其纵阔可以放笔快书。凡纸皆有连二、连三、连四（原注：售者：连四一名曰船）笺，又有青白笺，背青面白；有学士笺，长不满尺；小学士笺，又半之。仿姑苏作杂色粉纸，曰假苏笺，皆印金银花于上。承平前辈，盖常用之，中废不作比始复为之。然姑苏纸多布纹，而假苏笺皆罗纹，惟纸骨柔薄耳，若加厚壮，则可胜苏笺也。"[2]此百韵笺、连四笺、青白笺、学士笺、小学笺、姑苏笺等都是当时名笺。百韵笺大约较为长大，可写诗百韵。关于"连三"、"连四"，则有多种说法：（1）一次抄造连在一起的三笺、四笺；（2）福建纸业中的连氏兄弟；（3）"连"字即福建连城，"四"即是纸幅放大了四倍，"连四"便代表连城生产的大白纸。潘吉星主张前说[5]，戴家璋则主张后说[6]。他们的相同处是，都认为此名称与其工艺有关。我们基本上倾向于潘吉星的说法，下面将要谈到，明代江西也有"连三"、"连四"，及至"连七纸"，故第二、三种解释恐怕较难成立。《蜀笺谱》还将蜀笺与其他纸进行了一些比较："蜀笺体重，一夫之力仅能荷五百番，四方例贵川笺，盖以其远，号难致然。徽纸、池纸、竹纸在蜀，蜀人爱其轻细，客贩至成都，每番视川笺价几三倍。"[2]说蜀笺体重，徽纸、池纸较轻。

仿澄心堂纸。元费著《蜀笺谱》云："澄心堂纸，取李氏澄心堂样制也，盖表光之所轻脆而精绝者。中等则名曰玉水（冰）纸，最下者曰冷金笺，以供泛使。"[2]五代澄心堂纸原较厚重，宋、元仿制者皆较轻且薄。这大体上反映了宋、元两代仿造澄心堂纸的一些情况。

仿薛涛笺。因薛涛笺在人文中颇负盛名，故唐代之后，由宋及元，都不断有人仿制。清初王士祯（1634～1711年）《香祖笔记》卷一二引《雪蕉馆纪谈》云：

"明玉珍在蜀，有成都人陆子良能造薛涛笺，工巧过之。玉珍建捣锦亭于浣花，置笺局，俾子良领其事。"[7]此"工巧过之"，自然是对其质量的一种赞誉。明玉珍（1331～1366年）于元至正十七年（1357年）领兵入蜀，次年克成都。他据蜀时间为1358～1366年。陆子良仿薛涛笺，当在此时或稍前。

春膏笺和水玉笺等。《妮古录》载："元有春膏、水玉二笺，鱿色尤奇，又以缆纸作蜡色，两面光莹，多写大藏经流传于世。故有宋笺元笺之称。近年所造者，幅小于昔，虽便于用而无古法。"[8]

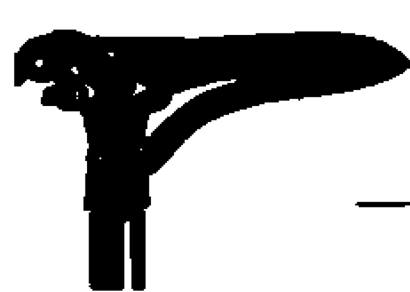
此外，其他学者也谈到过一些元代名纸、名笺，并都给予了较高评价。明张应文《清秘藏》卷上"论纸"载："元有黄麻纸、铅山纸、常山纸、英山纸、上虞纸，皆可传之百世。"[9]明文震亨《长物志》卷七"器具·纸"条载："元有彩色粉笺、蜡笺、黄笺、花笺、罗纹笺，皆出绍兴。有白籙、观音、清江等纸皆出江西。"[10]

**四、费著《蜀笺谱》**

费著（1303～1363年），华阳人，进士及第，曾任四川重庆府总管，至正十九年，明玉珍攻城时，为避战乱而迁犍为。著有名为《笺纸谱》者一卷，约成书于1360年。主要谈蜀笺，并旁及了姑苏笺、薛涛笺、宋景初十色笺等。对蜀笺沿革、品种、形制、用途都作了简要说明。为与鲜于枢的《纸笺谱》更好地区别开来，后人多谓之《蜀笺谱》。元陶宗仪《说郛》卷九八等曾经收录。"四库"本《说郛》称之为《蜀笺谱》，清《格致镜原》谓之《笺纸谱》[2]。

## 第七节 印刷技术的发展

蒙古贵族最初只谙弓马，而未遑文事。待其政权在全国逐渐确立下来后，便也做起了尊经崇儒、兴学立教之事来，使其印刷术在宋代基础上又有了一些发展。最初主要是收集南宋旧版重印，稍后，各级刻书机构也先后建立起来。元代朝廷一级的印刷出版机构主要有：兴文署、广成局、国子监，以及太医院、司天台等；地方有各路、府、州及郡县的儒学、书院或其他机构；民间刊刻则多为各地书铺，及少数私人家塾。在朝廷一级中，尤以兴文署刻本最负盛名，其中刻印较早且质量较好的应是至元二十二年（1285年）的胡三省《资治通鉴音注》。总体上看，元代刻印书籍不少，有的质量也不错，但不得与宋代相比。这一方面固然与元代稍短，且经济破坏较甚有关，但更为重要的是朝廷曾对刻印书籍有过严格限制，必得向有关衙门提出申请，获准后方能印行。这无疑会扼杀一些很有价值的图书。明陆容《菽园杂记》卷一〇"古人书籍"条在谈到刻印书籍的版本质量时说："元人刻书，必经中书省看过，下有司，乃许刻印。"[1]清蔡澄《鸡窗丛话》载："先辈云：元时人刻书极难，如某地某人有著作，则其地之绅士呈词于学使，学使以为不可刻，则已；如可，则学使备文咨部，部议以为可，则刊板行世，不可则止。"[2]清末叶德辉（1864～1927年）《书林清话》（1911年）卷七"元时官刻书由下陈请"条更依据元刊本的版牌记，列出了不少有关刻书申请的程序[3]。元代经济长期未能恢复，著作原本不多，加上这些限制，显然要影响到元代的出版业。元代印刷业较为发达的是南方福建的建宁、建安，江西的庐陵，浙江的婺州、杭





州和江苏的苏州；北方则以山西的平阳为盛。元代占主导地位的仍是雕版印刷，但技术上并无太大进步。元代印刷的主要成就是：中原木活字的使用见于记载，并使用了排版转轮；进行了金属活字的探索；雕版套色印刷有了发展；木版和铜版印刷纸币的技术较广泛地使用起来。

**一、木活字印刷技术的发展**

此期木活字技术的发展主要表现在两方面：一是王祯总结了一套木活字印刷的成功经验，并详尽地记述了下来；二是西北地区木活字印刷有了扩展。

（一）王祯木活字印刷

我国古代活字印刷发明于宋、辽时期，较早使用的有泥活字和木活字两种。今日看到的早期活字本实物既有汉文，也有西夏文，但皆见于原西夏地区。清代以来的藏书目录中，约著录过七八种宋活字本，如故宫博物院旧藏《周礼疏》，以及宋开庆元年(1259 年)《金刚经》，原有人认为其皆为木活字所成；后又有人认为，两者皆为雕版所印。清代藏书家缪荃孙（1844 ~ 1919 年）《艺风堂藏书续记》(1913 年）卷二说，北宋范祖禹（1041 ~ 1098 年）所著《帝学》为南宋嘉定木活字本，有学者认为其亦是雕版印成；其中范祖禹衔名一行多至 30 余字，上下重叠相连，几乎不可分割，若为活字印制，每字间总应有一定距离的[4][5]。看来，木活字在中原的真正使用，当是元王祯时期实现的。王祯不但成功地进行了木活字印刷的实践，并且是详尽记录了木活字印刷的第一人。

王祯《农书》卷二二“造活字印书法”载：“今又有巧便之法。造板木作印盔，削竹片为行，雕板木为字。用小细锯锼开，各作一字，用小刀四面修之，比试大小高低一同；然后排字作行，削成竹片夹之。盔字既满，用木掮掮(楔)之，使坚牢，字皆不动，然后用墨刷印之。”这里谈到了木活字印刷的基本过程。制作木活字的方法是：先将所需文字刻在一块整板上，之后再用小锯锯成单个活字；为使之大小高低一致，须用小刀逐个四面修理。之后再排成行，两边夹以竹片，空隙处用木楔子楔(掮)紧，之后上墨印刷。“印盔”即印版。此活字，是先用整版雕出的，这不但效率高、省料，而且质量较有保证。

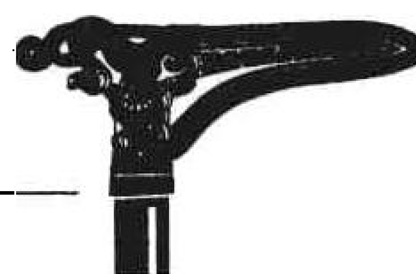
接着，王祯还详细地介绍了相关的六个辅助工序：

1．“写韵刻字法”。依国子监颁布的官韵选取可用字，依五声韵头制定字样，抄写完备后，请善于书写者依要求在白纸上写出各种字样，糊于板上，命刻字工刻出阳文反字。每字四边须稍留空隙，以便锯开。之、乎、也、者等语气词，数目字，常用字，各为一门类，且要多刻一些。总字数计约三万余字。

2．“锼字修字法”。主要介绍锯字修字的基本操作。“将刻讫板木上字样，用细齿小锯，每字四方锼下，盛于筐筥器内，每字令人用小裁刀修理整齐。先立准则，于准则内试大小高低一同，然后另贮别器。”

3．“作盔嵌字法”。介绍活字在贮字盘内的排序法。

4．“造轮法”。介绍旋转式贮字盘的构造和使用方法：“用轻木造为大轮，其轮盘径可七尺，轮轴高可三尺许，用大木砧凿窍，上作横架，中贯轮轴，下有钻臼。立转轮盘，以圆竹笆铺之。上置活字板面，各依号数上下，相次铺摆，凡置轮两面：一轮置监韵板面，一轮置杂字板面。一人中坐，左右俱可推转摘字，盖



以人寻字则难，以字就人则易……字数取讫，又可铺还韵内。”（图7－7－1）

5. “取字法”。介绍排字、取字的一些基本操作：“将元（原）写监韵另写一册，编成字号，每面各行各字俱计号数，与轮上门类相同，一人执韵依号数喝字，一人于轮上元（原）布轮字板内取摘字只，嵌于所印书板盔内，如有字韵内别无，随手令刊匠添补，疾得完备。”

6. “作盔、安字、印刷法”。介绍植字、印刷操作：“用平直干板一片，量书面大小，四围作栏，右边空候摆满，盔面右边安置界栏，以木掮掮之。界行内字样，须要个个修理平正。先用刀削下诸样小竹片，以别器盛贮，如有低邪，随字形衬䕠（垫）掮之，至字体平稳，然后刷印之，又以棕刷顺界行竖直刷之，不可横刷。印纸亦用棕刷顺界行刷之，此用活字板之定法也。”

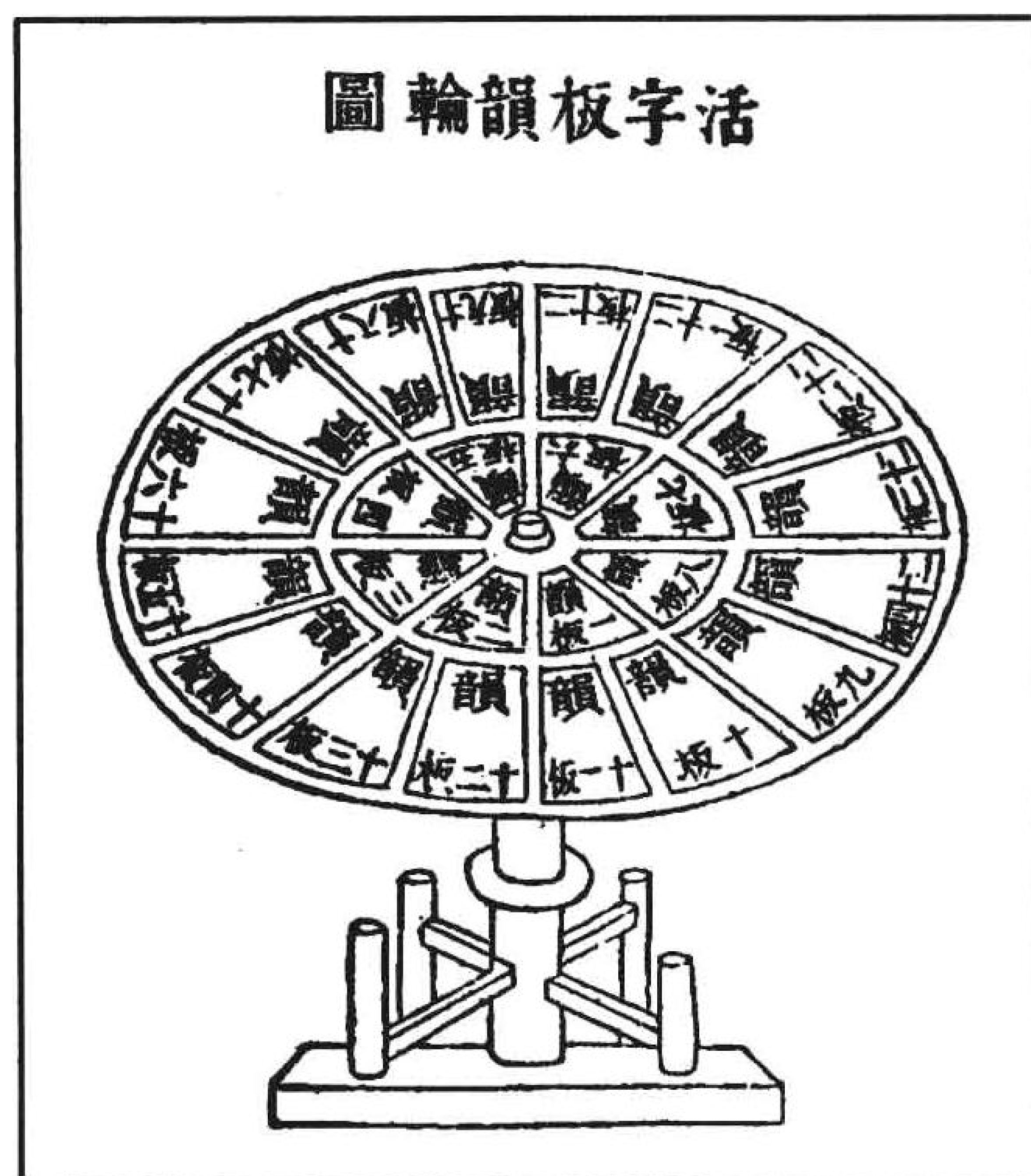



图7－7－1　元王祯《农书》所载旋转式韵类贮字盘

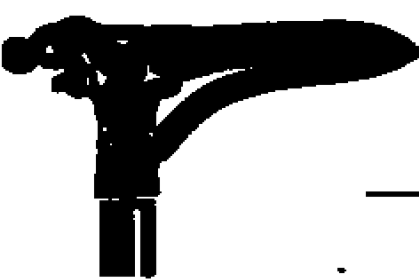
本书详尽介绍了木活字印刷的各基本工序和辅助工序。宋代的毕昇也试行过木活字，未获成功。王祯木活字印刷的主要进步是：（1）解决了沾水则高低不平的问题，其具体操作今已不得而知。人们推测，其可能采取了两项措施：一是选用了水沾后不易变形的木材做字；二是可能王祯木活字稍高，从而减少了变形的可能性。（2）活字不用“松脂、腊和纸灰”等药粘附，而用楔子固定，就解决了拆版时活字“不可取”的困难。（3）毕昇泥活字虽也依韵放置，但它是置于贮字箱内的，王祯将之改造成了依韵排列的旋转式贮字盘，从而提高了找字和排字速度，减轻了劳动强度，这又是一项不错的发明。

王祯，字善伯，山东东平人。《农书》系其任宣州旌德县尹时（1295～1298年）开始编纂的。因感篇幅较大，难用雕版法付印，便命工匠制作木活字，二年便成，并先用它试印了大德《旌德县志》（1298年），此书约6万余字，不一月而百部印齐，“一如刊板”。两年后（1300年），王祯调任江西永丰县尹，木活字亦一同带了去，当时《农书》方成。原准备用此活字付印的，而江西方面已将《农书》雕版印刷，这套活字便未再用。其质量既“一如刊板”，自然是不错的。西夏虽可能也使用过木活字，但《吉祥遍至口和本续》的印刷质量显然不是太高。王祯木活字的试印成功，并详尽地记录了下来，是印刷技术史上的一个重大事件。

（二）西北木活字印刷的扩展

西北地区木活字技术始见于西夏时期，及元，西夏文木活字仍在使用，且又扩展到了维吾尔族地区。

元代西夏文木活字印刷是人们在研究西夏文《大方广佛华严经》时提出的。如前所云，1917年9月，宁夏灵武县知事余鼎铭修城时，在城墙内发现了西夏文





佛经两箱，后来，有的为国立北平图书馆收藏①，有的流落海外，有的仍留存民间。在1930年，就有人指出过其中的西夏文《大方广佛华严经》为木活字版[6]；1972年[7]、1979年[8]、1985年[9]、1996年[10]，先后又有好几位学者对其进行过认真研究，并一致肯定了其为活字本。王静如曾研究过宁夏博物馆所藏《大方广佛华严经》第26卷、第57卷残页和第76卷全本，他还进一步肯定其为木活字本。主要论据是：（1）经背透墨深浅不一。（2）有的字行排列歪扭。（3）有重字和脱字现象。（4）有的字误置。如第76卷封皮“经函标目”误置[7]。张思温还指出了其部分经阅卷中有挖补重印、错字上加盖正字，以及笔书校正误字等现象，认为其属活字版无疑[8]。牛达生对其第76卷作了再研究后还指出了两个现象：（1）该卷中的“宝”字，是在预留空格上捺印的。这种捺印补字法，是木活字印刷的有力证据。（2）“该经虽为木活字，但封皮经名函签，却为小块雕版印成。”[10]此外，日本学者藤枝晃于1958年，西田龙雄于1966年，都先后认为西夏文《大方广佛华严经》为木活字本。值得注意的是：往日的印刷史专著，很少有人关注过《大方广佛华严经》为木活字本的问题[10]。

这是元代西夏文木活字本的情况。下面再看元代维吾尔族木活字。

1908年，甘肃敦煌千佛洞发现了数百个维吾尔文的木活字，硬木制成，大小不等，高矮一致，据考为1300年左右制成。维文原是拼音的，但这些活字并非字母，而是一个个的单词，这便表明了它与中原活字间的关系[11]。这些维族木活字当是在中原活字、西夏活字影响下制作出来的。

（三）关于马称德活字

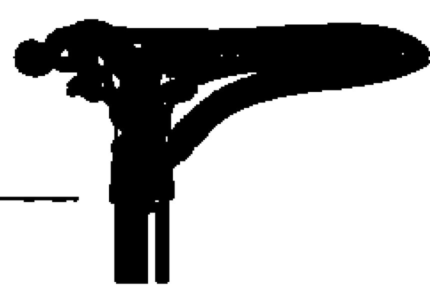
元时，活字印刷在南方也有了扩展，其中较值得注意的一个事例是：广平（今河北永年）人马称德（1279～1335年）的活字印刷。他于延祐六年（1319年）任浙江奉化知州，因政绩较佳，离任后有人立碑颂其功德。元人李洧孙《知州马称德去思碑记》（1323年）载：“广平马侯称德，字致远，作州于庆元之奉化，兴利补弊，无事不就正……荒田之垦至十三顷……杂木以株计者二百八十余万，养土田增置千二百石，活书板镂至十万字，教养有规。”[12]此说马称德用活字版印书10万字。又，元邓文源《建尊经阁增置学田记》：“广平人马侯致远来牧是州……及今次刊到活字书板印成《大学衍义》等书。”至正《四明县志》（1342年）卷七载奉化《书田记》：“知州马称德任内置到活板十万字，书籍活版印刷《大学衍义》一部，计二十册。”此说马称德印活版书《大学衍义》，可惜此书今已不传。其中虽未说明此活版的材质，但自20世纪50年代至90年代，学术界一般都将其视为木活字，[13][14][15][16]当有一定道理。因为从时间和地点上看，马称德与王祯相去不远，受其影响是极有可能的。

## 二、关于瓦活字和锡活字的探索

如前所云，先秦和汉代的图文复制工具有陶质、半陶质、木质、金质、铜质

---

① 前身为1909年清学部奏请筹建的京师图书馆，1931年7月在现址置建馆舍，定名“国立北平图书馆”（按：《辞海》说是1928年改名为国立北平图书馆），解放后改名“北京图书馆”，1999年改名“中国国家图书馆”。



等；唐宋雕版印刷工具有木质、铜质，可能还有铅质。所以，当人们使用了泥活字、木活字，并看到了它们强度不足等缺点后，自然要试用瓦活字和金属活字的。有关这方面的记载始见于元王祯《农书》卷二二“造活字印书法”条，其在谈到了雕版印刷的不足后说：“有人别生巧技，以铁为印盔界行，内用稀沥青浇满，冷定，取平火上再行煨化，以烧熟瓦字排于行内，作活字印板。为其不便，又有以泥为盔界行，内用薄泥，将烧熟瓦字排之，再入窑内烧为一段，亦可为活字板印之。近世又铸锡作字，以铁条贯之作行，嵌于盔内界行印书。但上项字样难于使墨，率多印坏。所以不能久行。”这里先后谈到了瓦活字和锡活字。此“瓦”字含义不明；王祯说瓦活字是“烧熟”了的，前云毕昇说胶泥活字是“火烧令坚”；从字面上看，不能排除瓦活字烧成温度稍高的可能性。但从现代技术原理上看，不管泥活字，还是瓦活字，其烧造皆相当于一种焙烧。焙烧过程主要是消除加工应力、脱水和促使某些碳水化合物分解，这与“陶模”、“陶范”焙烧过程大体上是一致的，故这泥活字和瓦活字，总体上皆应属于泥质、半陶质，而不能达到陶质，即不能达到陶的烧造温度，以免因相变和发生体积变化，而影响字形笔画的精确性。自然，更不能达烧结的温度。

与泥活字相比较，此锡活字的主要优点是：强度稍高，反复使用的次数较多。缺点是“难于使墨，率多印坏”。瓦活字未曾流行开来，可能与其烧成温度稍高，容易出现烧结，并引起活字体积变化有关。但锡活字和瓦活字的试用，反映了人们一种不断探索的精神，尤其是锡活字，这是见于记载的最早金属活字。锡活字的出现，为铜活字、铅活字的出现作了一定的准备。因纯锡较软，故这种锡活字很可能是一种锡为基的锡铅二元合金，此外可能还含有少量其他金属元素。

**三、泥活字印刷技术的发展**

毕昇之后，在元代，及至清代，都有人对泥活字印刷进行过研究和仿制。在元代，大家较为熟悉的主要是杨古（1216～1281年），他曾用泥活字印制过《小学》等书。元姚燧《牧庵集》卷一五说：忽必烈谋士姚枢（1201～1278年）曾因“《小学》书流布未广，教弟子杨古为沈氏活版，与《近思录》、《东莱经史说》诸书散之四方”[17]。此“沈氏活版”即沈括记述的泥活字版印刷术。另外，据15世纪的朝鲜人金宗直说，杨惟中（1205～1259年）也曾作泥活字版。金宗直在跋朝文活版本《白氏文集》时说：“活板之法始于沈括，而盛于杨惟中。天下古今之书籍无不可印，其利博矣。然其字皆烧土而为之，易以残缺，而不能耐久。”但杨惟中到底作了哪些泥活字版，却未说明，而《牧庵集》卷一五只说过杨惟中曾用雕版印刷过一些书籍，并未说其使用泥活字版。这有两种可能：一是金宗直另有所据[18]；二是不能排除金宗直把杨古的泥活字版算到了杨惟中头上的可能性，因杨惟中时任中书令。

**四、雕版套色技术的发展**

早在北宋和辽代，我国就用雕版套色法印制过佛像和纸币，但用套色法印书，却是到了元代才看到的。今人所见最早的朱、墨套印本是元中兴路（湖北江陵）资福寺所刊《金刚经注》。其卷首扉画坐着无闻老和尚注经，有侍者一人，旁立一人，连同书案、云彩、灵芝，皆为红色，上方松树为黑色（彩版玖，2）。至正元

年（1341年）出版[19]。这虽非最早的套色印刷实物，却是世界最早的套色印刷的书籍。但书籍套色技术一直发展较慢，今见套色印本书多数是属于明万历之后的。

对资福寺《金刚经注》的印制方法，学术界也有不同意见。有人认为它是在同一雕版的不同部位涂了不同颜色而一次印成的，但我们还是倾向于多次印刷说，主要理由是其两色毫无沾染。

**五、纸币印刷**

为满足大规模军事行动的财政支出和蒙古贵族的物质奢求，元政府发行了大量纸币，并制定了一整套发行制度。据《元史》卷九三“食货志·钞法”载：“元初仿唐宋金之法，有行用钞，其制无文籍可考。世祖中统元年（1260年）始造交钞。”罢除了各地临时发行的纸币，统一发行了“中统交钞”。“是年十月，又造‘中统元宝钞’”。印刷用版计有两种，“初钞印用木为板，（至元）十三年（1276年）铸铜易之”。1960年，江苏无锡市元墓出土过“至元通行宝钞”33张，皆为桑皮纸，灰黑色，其中面额为“伍伯文”者15张，其全长27.8厘米、宽19.8厘米，钞面版长25厘米、宽16.4厘米，背面下部亦有版印；面额为“贰伯文”者18张[20]。元钞虽因发行量过大而引起通货膨胀，引起人民群众不满和拒绝使用，但纸币对纸的质量和印刷质量都要求较高，在印刷史上还是值得一提的。

## 第八节 火药火器技术的发展

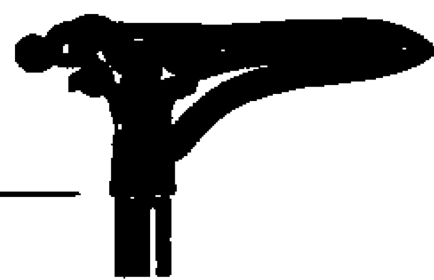
我国古代火器在北宋初年开始使用。宋、金时期，一些初级火器一齐登上了战争的历史舞台，并显示了一定的威力和发展前景。元代在继续使用机发火砲（炮）、子窠突火枪的同时，又创制了金属的管形射击火器，即火炮和火枪，把火药、火器技术又向前推进了一步。

**一、火药配制技术的提高**

有关元代火药配方的文献资料迄今未见，但从有关火药爆炸事故的记载来看，元代火药技术的进步是十分明显的，其爆炸力亦大为提高。

周密《癸辛杂识·砲祸》载：“赵南仲（1186～1266年）丞相溧阳私第常作圈，豢四虎于火药库之侧，一日，焙药火作，众砲倏发，声如震霆，地动屋倾，四虎悉毙，时盛传以为骇异。”[1]这是元代初年发生在溧阳的火药大爆炸事故。该条接着又说，至元庚辰（1280年）维扬砲库之变更为惨烈。因最初都是南人操作的，“遂尽易北人，而不谙药性，碾硫之际，光焰倏起，既而延燎，火抢奋起，迅如惊蛇……大声如山崩海啸，倾城骇恐，以为急兵至矣。仓皇莫知所为，远至百里外，屋瓦皆震……事定按视，则守兵百人皆糜碎无余。楹栋悉寸裂，或为砲风扇至十余里外，平地皆成坑谷至丈余。四比居民二百余家，悉罹奇祸”[1]。这是元代初年发生在扬州的两次火药大爆炸事故。其中的“砲”实指火药、火药包。“砲风”当指爆炸产生的各种冲击波。楹栋被炮风扇至十余里外，平地坑谷至十余丈，足见元代初年及至南宋末年火药爆炸威力之大和火药技术的进步。

在谈到元代火药时，还有一事值得一提。1974年，西安出土过一件铜火铳，药室中装满了火药；其色黑褐，出土时多已结成坚实的固体块，散碎者含有较大



的颗粒。标本今虽丧失了爆炸力，但仍能燃烧，且有火星显现，燃烧后留有残渣[2]。经分析，其主要元素含量为：13.67% C、1.6% H、2.24% S、0.13% N。依此，有学者推定其物质组成为硝、黄、炭三物，并假定其依然沿用了《武经总要》中的硝硫比(3:1)；于是便得出了西安元代黑火药的配比为硝6、黄2、炭2的推论。因当时欧洲黑火药的成分是①：硝石67%、硫黄16.5%、木炭16.5%；有关学者并得出了此西安火药与之接近的结论。[2][3]此说当有一定道理，但如此层层设定的合理性，亦是需要研究的：（1）今日看到的火药成分，显然并非其原貌。（2）西安火药早已研碎，并已风化，其真实组分是不易分辨的。（3）《武经总要》中尚无金属管形火器用药，它的硝硫比，很难为西安火铳借用。

**二、金属管形射击火器的出土情况**

我国古代管形射击火器最初是竹质的[4]，大约元初便制造出了金属管形射击火器，今见于考古发掘和传世的元代管形火器多属铜铳，计约10例：

阿城铜手铳。1970年黑龙江省阿城县半拉子城出土。全长34厘米，重3.55千克。由前膛（铳管）、药室、尾銎三部分组成。前膛长17.5厘米，铳口内径2.6厘米，口部外沿铸有加固箍。药室外凸呈椭圆状，腹围21厘米，上有小孔可置火捻。尾銎中空，口大底小如喇叭形，可供装柄。伴出物皆属元代，发掘者结合有关文献推测，火铳铸制年代下限可能不晚于1290年[5]。

内蒙大德碗口铳。1989年发现于内蒙锡林郭勒盟一位牧民的羊圈边。全长34.7厘米，口外径10.2厘米，内径9.2厘米，壁厚约0.5厘米，口部呈碗口状，重6.21千克。铳体坚固，保存完好。前膛深27厘米，膛后部药室微隆起，壁上开有一个火门。尾部中空，长6.5厘米。尾銎两侧的铳壁上铸有两个对穿的小孔，孔径约2厘米，系装置火铳使用的水平轴孔。铳身两侧竖刻两行八思巴文，意为："大德二年（1298年）于迭额列数整八十"。这是迄今所知有明确纪年的最早的金属管形射击火器[6]。

西安铜手铳。1974年西安东关出土，全长26.5厘米，重1.78千克，亦由前膛、药室、尾銎三部分组成。前膛长14厘米、内径2.3厘米。药室为椭球形空腔，壁上有一小孔。在药室前后端、尾銎后端和铳口前端，计铸有6道加固箍。伴出物的建筑构件质地与元代安西王王府遗物一致[2]。依此人们推测，此手铳约14世纪铸成[7]。

通县铜铳。1970年北京通县出土，全长36.7厘米、口径2.6厘米、尾径2.6厘米，重2.13千克。此铳形制稍有特殊，铳膛及尾部稍呈喇叭形，药室前后各有一道箍，制作较为粗糙。年代无考，估计为13世纪末至14世纪初期之物。今藏首都博物馆。

余杭"天佑丙申（1356年）"铜铳。1983年，浙江余杭县征集，形制与至正辛卯铳相似而略小，全长32.6厘米，口径2.8厘米，重3.665千克，铳身上亦有6道箍。铳身有"天佑丙申，朱府铸造"8字铭。天佑为元末张士诚年号[8]。

① 一般认为，中国火药是在1258～1304年间传到伊斯兰教国家的；在1290～1325年间，欧洲人在与伊斯兰教国家作战时，也逐渐掌握了这一技术。

合肥铜手铳。1991年合肥逍遥津公园出土，全长38.5厘米，由前膛、药室、尾銎、手柄4部分组成。前膛和尾銎均呈筒状，膛口及尾銎底座略呈喇叭形。前膛长18.5厘米、外口径7.0厘米、内径3.0厘米，尾銎长9.0厘米、外底口径6厘米、内径4厘米。药室外凸呈椭圆形，长11.0厘米、围度26厘米，药室前后端有扁圆形手柄相连。柄已断为二段。铳身两侧有合范缝，铳身首尾两端皆铸有一道加强箍。无铭文，亦无伴出物，有关学者从火铳形制比较推测，其年代当不晚于至正十一年（1351年）[9]。

清江铜铳。形制与阿城火铳相似，伴出物有八思巴文铜钱，断代为元[10]。

益都"至正辛卯（1351年）"铜铳。全长43.5厘米、口径3.0厘米，重4.75千克，自铳口至尾端，计有六道箍和三处16字铭：中部为"神飞"2字，前部为"射穿百札，声动九天"8字，尾部为"至正辛卯，天山"6字。表面光滑，造型美观，字体工整，清新醒目，保存完好。乾隆二年（1737年）发现于益都。今藏中国人民革命军事博物馆[11]。

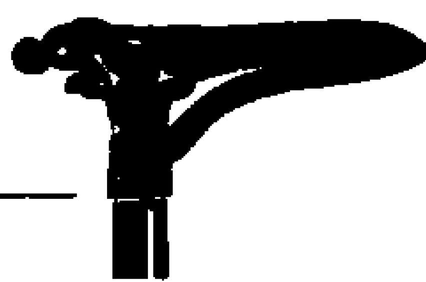
房山"至顺三年（1332年）"盏口铳。1935年北京房山云居寺发现。铳身粗大，铳口似盏。由盏形铳口、铳膛、药室、铳尾构成。全长35.3厘米，口径10.5厘米，尾底口径7.7厘米，膛径8厘米，重6.94千克。铳身铭文为："至顺三年二月吉日，绥边讨寇军，第叁佰号马山。"今藏于中国国家博物馆[11]。

张家口碗口铳。1961年张家口市发现，长38.5厘米、内口径12厘米、外口径15.8厘米，断代为元[12]。

这是今见铜火铳实物的简单情况，此外可能还有一些，不再枚举。这些火铳皆系铸制，大体上皆由铳膛、药室、尾銎三部分组成。尾銎的设计，一是为了便于铸造，二是便于装柄。阿城、西安铜铳，形制皆较简单，制作亦较为粗糙，铳管厚薄不甚均匀，口径不圆；阿城火铳在药室前后皆无加固箍。这些早期火铳皆身部较短，射程较短；装药和发射速度较慢；无瞄准器，命中率较低；铳身后坐力较大，且易炸裂。这些，都表现了一定的原始性。明代之后，才逐步得到了一些改进。

从使用方式上看，元代火铳大体可分为两种类型：（1）单兵手铳。直口，口径介于2.3~3.0厘米之间。单兵以手把持使用。（2）碗口铳。口呈碗状，或说盏口状，口径介于10~12厘米之间。安于架上发射。今在考古发掘中所见多属前者，后者所见有内蒙大德二年碗口铳、房山至顺三年盏口铳、张家口碗口铳等器。[11][13]因有关实物依然较少，且缺少详明的记载，故这两种火器谁个出现在先，眼下尚难判断。碗口铳虽较单兵手铳简单，但其发展也是很快的。上述几件铳的碗口只是稍有外侈，药室较短，且隆起较小，显示了早期碗口铳的特点；明代之后，碗口外侈增多，药室增大且明显鼓起[6]。

关于我国古代金属火铳的发明期，目前尚难肯定，一般认为是元代初年。今见较为确凿的实物是大德二年铳。但因有学者推定阿城铜铳的年代为1290年以前，这距南宋灭亡（1279年）只有10年左右，而蒙古人的火器技术远较宋、金落后，依此，便有学者推测阿城铜铳应是南宋铸造，之后才落入了元人手中的[7]；不过，也有学者对此推断表示了怀疑，有待进一步研究。大德二年铳和至顺三年铳的銎



壁上都铸有尾銎水平转轴孔，其装入木轴后，便可起到转轴的作用；铳的前身垫置后，可通过抬高或压低转轴的方式来调节铳口的发射角；显然这是一种较为进步的装置。至顺三年铳的轴孔还呈方形，便于銎壁与转轴间的固定连接。看来这几件元代火铳已走过了一定的发展历程[6]。

金属管形火器显然是从南宋竹质突火枪演变过来的，它的出现是火药火器技术发展史上的一次飞跃。其主要优点是：（1）强度高，能承载较大的压力，便能增加装药量，提高射出弹丸的初速度和杀伤力。（2）铜管较为耐热，故能保持良好的弹道性能，提高命中率。（3）铜管散热较快，使两次射击的时间间隔大为缩短。（4）使用寿命延长。（5）可视需要进行设计，故结构较为合理；可用铸造方式成型，故产品易于规范化，并可批量生产。

**三、关于早期金属管形射击火器的记载**

金属管形火器在军事上的应用当始于元代初期，但文献上的有关记载则是到了元代晚期才看到的，其名称主要有：火炮、火铳、火筒、火筩、火枪等。在攻城、守城、水战中都有使用，既用于镇压反元武装，亦用来互相残杀。

《元史》卷一九四“纳速剌丁传”载：至正十年（1350 年），张士诚起兵反元，元廷派纳速剌丁前往镇压，“乃发火筩、火镞射之。死者蔽流而下”。这是较早提到“火筩”的地方，时为元代晚期。“筩”即筒，《汉书·律曆志》：“制十二筩以听凤之鸣”。此火筩即火铳。

元徐勉之《保越录》载：至正十九年（1359 年），张士诚部将吕珍守越（绍兴），朱元璋部将胡大海率军来攻，将城围住并猛攻，“天将曙，大军列阵于城外，飞矢如雨，又以火筒、火箭、铁弹丸射入城中，其锋疾不可当”[14]。这里提到了“火筒”，亦是火铳；铳者，亦即筒也。此“铁弹丸”也很值得注意，虽其发射方式不得而知，但并不能完全排除管形火器发射的可能性。

钱谦益《国初群雄事略》卷四“汉陈友谅”载：至正二十三年（1363 年）七月，朱元璋率舟师二十万至鄱阳湖，与陈友谅主力（号称六十万）决战，战斗开始后，朱元璋按部署攻击陈友谅水军，“火砲、火铳、火箭、火蒺藜、大小火枪、大小将军炮、大小铁炮、神机箭”等火器，一起射出[15]。时为元代末年。此火砲、火铳、大小将军炮、大小铁炮，包括大小火枪在内，为管形火器当是无疑了的。此“大小铁炮”，则是元代已有铁质管形火器之证。可知，作为管形火器的枪、铳、炮元代都已出现。此“将军炮”一名在明、清文献中常可看到，它是对一些重型火炮的一种美誉。此两段文献都提到了“火箭”，很可能也是火药发射的。《火龙经》卷中便载有火药发射的“火箭”。

此外，关于元人使用铜火器的文字还有一些。如杨维桢诗《铜将军》，描写张士诚弟张士信在平江（今江苏苏州）被铜火炮击毙的情况。其题注云：“刺伪相张士信也。丁未（1367 年）六月六日为龙井砲击死。”诗中有云：“铜将军，无目视有准，无耳听有神……天假手疾雷一击，粉碎千斤身。”[16]此“龙井砲”即一种铜火炮。

关于元代使用铁质管形火炮的情况，这里还有一条文献。张宪诗《铁礮行》：“黑龙堕卵大如斗，卵破龙飞雷鬼走，火腾阳燧电火红，霹雳一声混沌破。”[17]此

“铁瞰”又誉之为“黑龙”，当即是铁质的管形火器，与前引钱谦益《国初群雄事略》卷四所说“大小铁炮”应是一样的。但元代铁质管形火炮的实物却迄今未见。清末金陵校场出土的铁炮，旧传为元末张士诚铸，经有关学者考订，应是吴三桂所铸，因张士诚不用“周”纪年，吴三桂才用“周”纪年[18]。

作为管形火器的枪、铳、炮，是为适应不同的需要而制造出来的；为了便于单兵冲锋陷阵、使用轻便，就造得小一些；为了加大威力、加大杀伤力，就铸得大一些。上述房山至顺三年铳、张家口元代铳的炮口皆呈碗口（盏口）状，主要是为了发射直径较大的炮弹，其中包括石弹和火药弹等。[19][20]有关情况下一章还要谈到。

我国古代之砲或炮，约有两种类型：（1）抛石机。其迟至发明于春秋时期，始称之为“机”，约魏晋时期便有了“砲”和“瞰”的称呼；被投射物始为石球，至迟唐代又有了油脂类等易燃物，北宋之后又有了火药性易燃、易爆物。（2）金属管形火器。约发明于元代初年，兴盛于明、清，被投射物主要是火药弹。从宋初到元末，是抛石机从抛石过渡到抛火药的阶段。抛石在宋代仍十分盛行，明、清时期还有使用。一般认为，作为金属管形火器的“炮”、“火炮”的名称，是由抛石机演变过来的。在实际生活中，人们不但把投石机和管形火器称之为“砲”或“炮”，而且把被投射物，如大石球、瓦质或铁质的火药罐等也冠上了“砲”或“炮”之名。

## 第九节 指南针技术的推广

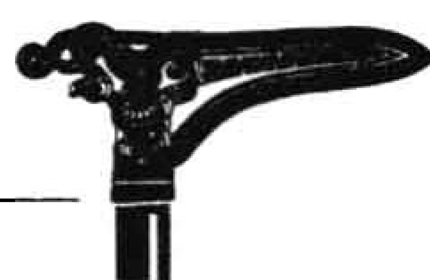
我国指南针技术约发明于唐代中期，当时主要是水针，多存在于方术家手中。至迟北宋晚期，水针便用到了航海事业上。至迟南宋中期，我国又发明了旱罗盘。元时，指南针进一步推广开来，目前在中国南北许多地方都有图绘“王”字形水针瓷碗出土，并有了航海针路的许多记载。针路的出现，为海船的安全行驶提供了有力的保证。

### 一、水针技术的推广

在元代，水针的使用日渐增多，这可由图绘“王”字形水针瓷碗的出土情况得到证实。这种图绘“王”字形水针瓷碗在宋代尚无一见；元代以后，有关实物在河北、北京、辽宁、江苏等地都有出土。今见于报道的主要有下列几处：

观台窑元代地层。1957 年，河北磁县观台镇窑址元代地层出白釉瓷碗、碟、盘等物，瓷碗较大，口沿外撇，深腹、高圈足。碗的内底多见有马、王、吴、刘、元等不同的文字，显然，这应是一种纪姓标记。值得注意的是，有一种碗的内底绘有“王”字形图案，具体形态是三个花生形、算珠形的墨点，中间横贯一细线。有的碗保存较好，有的只见残片，内底亦多绘有两周黑色或赭色弦纹[1]。

1964 年，考古工作者在观台镇、冶子村、东艾口村等，磁州窑的这三处遗址中发现过多件晚于宋代的图绘“王”字形水针瓷碗，其中一件口径 14.6 厘米、高 5.8 厘米；另一件口径 18.8 厘米、高 8.5 厘米。碗内施白色满釉，碗底绘有“王”字形图案[2]。



旅大甘井子元代墓葬。1958 年，辽宁旅大市（今属大连市）甘井子元代墓葬出土有白釉褐花大瓷碗两件，碗高 7.5 厘米，碗外挂半釉，碗内绘有两周褐釉弦纹，碗底中心绘有“王”字形图案。碗之外底圈足内绘墨书一个“针”字[3]。

磁县南开河元代沉船。1975 年，磁县南开河元代沉船内出土大量窑器，其中有白釉碗 42 件，碗高 7.6～8.3 厘米，有的碗的内底亦绘有“王”字图案[4]。

丹徒元代窖藏。1962 年，江苏丹徒大港一带发现一处元代窖藏，出土瓷器 26 件，其中有 3 件磁州窑白釉带花碗，碗高 7.2 厘米、口径 17.2 厘米，撇口圈足；碗外半釉，碗内满釉；碗内绘有两周弦纹，内底中心绘有“王”字形图案[5]。

此外还有北京明城墙豁口。20 世纪 70 年代晚期，北京市文物工作队在明初所筑北城墙的豁口处，亦发现过图绘“王”字形瓷片[5]。

这种图绘“王”字形瓷碗都大体相同：通常外表半釉，内表满釉；内底中心图绘有“王”字形图案，其外有两周弦纹；有的碗之外底墨书一个“针”字。王振铎认为：这种绘有水针的瓷碗，实际上是漂浮式水针的天池，也即是水针的承载体。其“王”字当中的竖线便表示磁针；三个花生状、算珠形墨点（即所谓的三条横线），便表示水针的三支灯心草。将磁针放入针碗的水中，与所绘磁针上下对照，视需而转动针碗，所绘磁针便可指出转移的方位。如，磁针上下对准后，再将针碗转成直角，碗内所绘磁针（即“王”字的一竖线）的方向便是东西向位，从而便可确定东、南、西、北四个方位（图 7－9－1）[5]。这种瓷碗在中国南方、北方都有出土，说明这种水针此时使用已广。

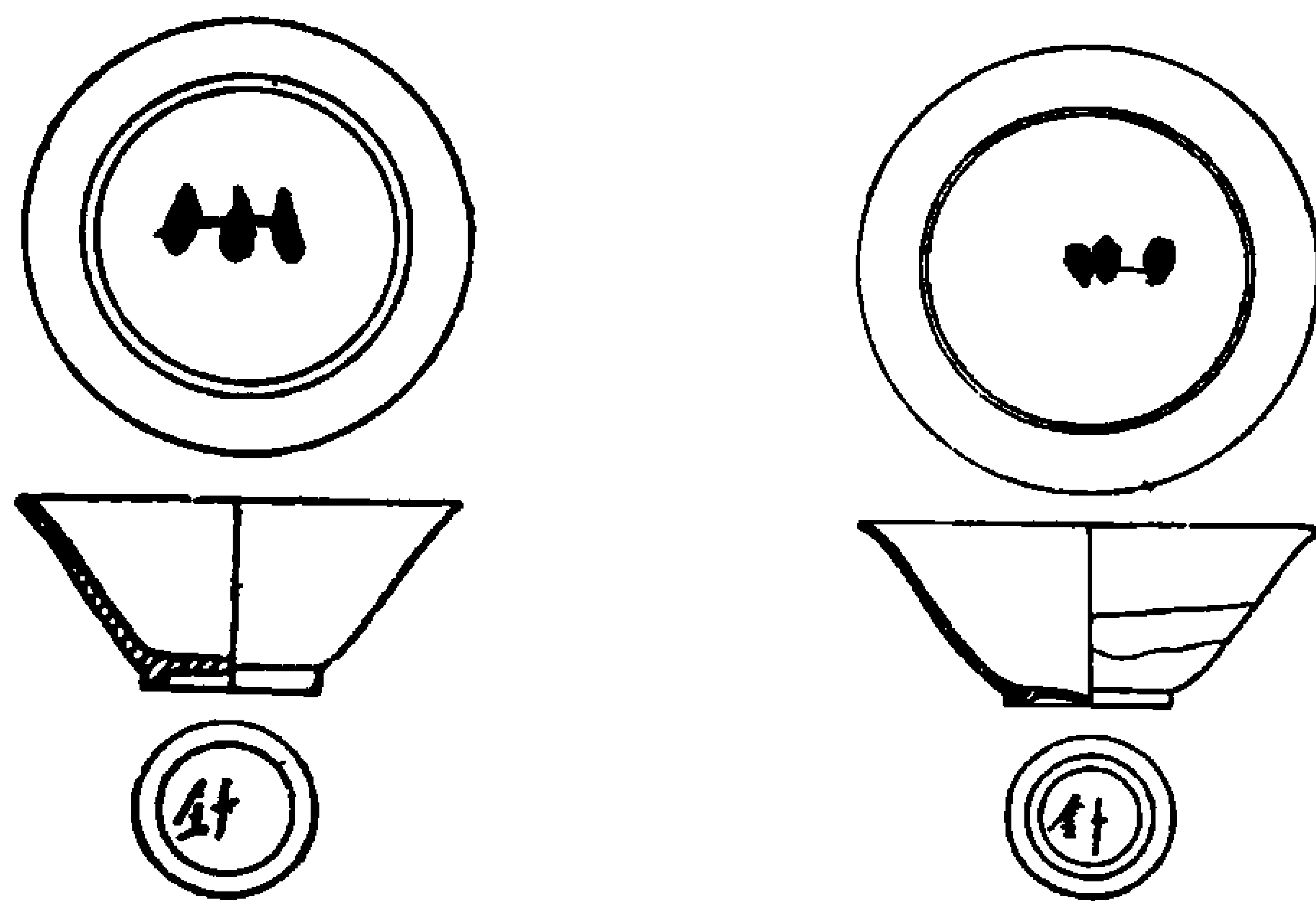
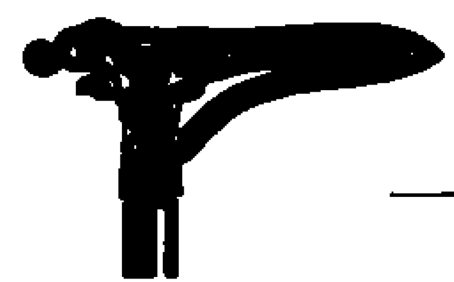



**图 7－9－1　旅大甘井子图绘“王”字形水针瓷碗**

采自文献[5]

**二、对磁偏角认识的发展**

元人对磁偏角亦有了进一步的认识。元初赵友钦撰、明王祎修订的《重修革象新书》卷下“地有偏向”载：“地中有子午卯酉四向。四向既正，则轮盘二十四向皆正矣。然而八方之地，各有偏向。春分前二日、后二日，此两日卯酉时，日在卯酉正位；设地偏南北，则卯酉表景不相直。北极为子正之位；日中，太阳为正午之位；设地偏东西，则子午表景不相直。故于偏地而欲取正四向以分轮盘，则二十四向疏密不均，首尾不对矣。要当各立偏向而先审定偏卯偏酉之方……若世所用指南针，要亦可准。试即偏地用之，验其所指者，正午欤？偏午欤？使偏地而指偏午，则二十四向皆随偏午而定，而亦可因以测天。苟指正午，则偏地难指正向，午虽正午，而子非正子，首尾不对，一向既差，余向俱差矣，此不可不辨也。”[6]此进一步阐明了宋代以来关于磁偏角的思想。虽因历史条件限制，时人在解释磁偏角的原因时还不是十分周密，但这毕竟是人们认识上的的一个进步。





元程棨在《三柳轩杂识·指南铖》中，亦谈到了磁偏角，并谈到了水针："阴阳家为磁石引针定南北，每有子午丙壬之理。按本州沽义，磁石磨针锋，则能指南，然常偏东，不全南也。其注取新纩中独缕，以半芥子蜡缀于针腰，无风处垂之，则针当指南，以针积贯灯心，浮水上亦指南，然常偏丙位，盖丙为土火庚辛金其制，故知是物类感耳"[7]。说明在元代，它们都已为较多的人所了解。

**三、关于航海针路的记载**

元代在指南针应用上获得了一项新的突破，即出现了航海罗盘的"针路"，这是航海过程中，用罗盘针表示的航向或航线。在现有文献中，关于针路的记载始见于元，不少文献都有记载。

周达观《真腊风土记》："自温州开洋，行丁未针，历闽、广海外诸州港口，过七洲洋，经交趾洋到占城；又自占城顺风可半月到真蒲，乃其境也。又自真蒲行坤申针，过崑峇洋入港。"[8]周达观，温州人，其于元成宗元贞元年（1295 年）至大德元年（1297 年）出使真腊（今柬埔寨）。其在该书的"总序"中便谈到了前往真腊的针路。这里提到了丁未针、坤申针两种航向，且十分具体。

《大元海运记》卷下"测候潮汛应验"条云："万里海洋，渺无涯际，阴阳风雨，出于不测，惟凭针路定向行船。仰观天象，以卜明晦，故船主高价召募惯常梢工，使司其事。"此虽说得较为概括、笼统，但却十分明确地说到了"凭针路定向行船"。此书原收集在至顺二年（1331 年）成书的《皇朝经世大典》中；1915 年时，由罗振玉收入《雪堂丛刻》而得流传。

明清时期，有关航海针路的文字资料明显增多，其中大家较为熟悉的《海道针经（甲）·顺风相送》、《海道针经（乙）·指南正法》两书，前者约成书于明代中晚期，后者约成书于明末清初。它们记述了东西洋各国的水山形胜和往返针路。[9][10][11]

这些针路显然是人们在长期航海实践中总结出来的，"针路"的出现，说明了航海事业和航海罗盘针技术的发展。

在此有一点需指出的是，今世有学者认为：中国人发明了火药，但只用来制作爆仗；中国人发明了指南针，但只用来看风水；其实并不是这样的。由上可见，火药发明于唐代中期，北宋初年开始制成火器并用于战争，在元、明两代战事中都显示过强大的威力；指南针约发明于唐代中期，早在北宋便用到了航海事业中，元代海军的多次远征、明代郑和下西洋等重要海事活动都使用了指南针。其实，造纸、印刷、火药、指南针这四大发明，也和其他科技成就一样，都是在实践中产生出来，在实践中得到了发展，都在中国历史上作出了重要贡献。

## 第十节　髹漆技术

元代历时较短，但出土漆器还不是太少的，且在我国漆器技术发展史上占有重要的地位。其中最值得注意的事项是：（1）剔红技术、螺钿技术、戗金技术和素色漆技术等，此期都有了较大发展，其中薄钿片的使用则具有划时代的意义。（2）元人陶宗仪著《辍耕录》中，对多项髹漆工艺做了详明的记载，这是保存至今



的最早的髹漆工艺的资料。这些都在一定程度上说明了此期髹漆技术的发展。

**一、漆器出土和收藏的一般情况**

（一）考古发掘的元代漆器

较值得注意的主要有：

青浦任氏墓漆器。1952 年发掘，出土漆器 7 件，包括雕漆山水人物圆盒 1 件、漆奁 1 件、漆小盒 4 件、漆瓶 1 件，其中较值得注意的是：（1）雕漆山水人物圆盒，高 4.0 厘米、直径 12.2 厘米，木胎，盒面雕陶渊明东篱采药图，雕漆呈枣红色，与后述故宫博物院所藏“张成造”款雕漆山水人物盒，在造型、刀法上均极为相似，很可能出于同派工匠之手。张成为嘉兴人，元末雕漆名匠。《格古要论》卷下“古漆器论”载：“剔红，器无新旧，但看朱厚色鲜红而坚重者为好……元末西塘杨汇有张成、杨茂，剔红最得名。”[1]（2）小漆盒，高 4.9 厘米、直径 8.8 厘米，朱漆，镶银口。这是一组任氏家族墓，伴出物中有 6 块墓志铭和 3 块墓碑，其中载有墓主人的生卒年月和生平事迹[2]。这些漆器一定程度上反映了元代雕漆技术的发展。

无锡元墓漆器。1960 年发掘，计约 10 件，包括：（1）漆奁 1 件，八葵形，分为 3 格，带盖，有子口。通高 22.5 厘米、直径 16.5 厘米、底径 12.3 厘米，外朱红，里和外底皆黑色。（2）盒 3 件，置奁内，里外皆髹黑漆。（3）盆 4 件，其中 I 式 2 件，里外皆黑，外底红色。（4）桶 2 件，里外皆黑，外底红色。此 10 件漆器皆髹素色漆，多为黑色，或间有红色等。伴出物有“至元通行宝钞”等物[3]。可见素色漆技术在元代又有了发展。

北京元大都薄螺钿残片。1 件，1970 年北京元大都贵族居住址出土，原器系木胎漆盘，盘径约 37 厘米，盘之内表面用海螺壳薄片镶嵌成嫦娥奔月图。图案正中是一座双层楼阁，楼阁旁边植有梧桐树和桂树，楼阁上方云雾缭绕。螺片五光十色，构图气象万千[4][5]。前述唐代钿螺片都是较厚的，这元大都螺钿则是今日所见年代最早的薄钿螺片实物，在我国古代漆器技术史上占有重要的地位。薄螺钿的优点主要是构图更为细致清新。

北京延庆泰定元年（1324 年）“内府官物”朱漆盘。1989 年出土，盘高 5.9 厘米、口径 36.3 厘米、足径 28.5 厘米，木胎夹纻，表里皆髹朱漆，盘底髹黑漆，盘底直书朱楷体字款三行：中行“内府官物”，右行“泰定元年三月漆匠作头徐祥天”，左行“武昌路提调官同知外家奴朝散”。外家奴为人名，元人常以“千家奴”、“百家奴”取名。“朝散”是虚衔，只领俸禄，并无职权[6]。可知这是一件供内府使用的官物。元官府对髹漆业还较重视，《元史》卷八五“百官志”载：至元十二年设“诸色人匠总管府”，隶属工部，下置出蜡局、镔铁局、油漆局等。

（二）传世品中所见元代漆器

这类漆器主要是雕漆、犀皮，以及戗金漆器，国内外都有收藏。

故宫博物院藏张成造剔红山水人物盒。1 件，1954 年购得。表面为朱红罩漆堆起，漆层约 80 道，呈深红色（俗谓枣红色），里面及底部皆用光漆，呈棕黑色（俗谓栗子皮色），盒底针刻“张成造”3 字[7]。

故宫博物院藏杨茂造剔红花卉渣斗。1 件，周身以土黄色罩漆为地，用朱红罩

漆堆起，约有50层漆，雕成秋葵、山茶纹样。底部和里面用数道纯黑色退光漆，底部有针刻“杨茂造”3字。用朱不厚，底和里部满布“牛毛断纹”[7]。如前云，杨茂和张成同为嘉兴西塘人，俱善雕漆，对我国雕漆技术的发展都作出过重要贡献。

故宫博物院藏张成造剔红花卉圆盘。1件，盘里及表面均用红罩漆堆起，约百十漆层，盘心雕牡丹一枝，盘外边作连云带状图案，其面光漆呈纯黑色。雕工刀法与张成造剔红山水人物圆盒相同，盘底靠边处有针刻“张成造”3字[7]。

安徽省博物馆藏张成造剔犀漆盒。1件，圆形，直径15.4厘米，通高6.5厘米，盖和底的周缘皆雕三组云纹，雕工圆润，堆漆肥厚，刀口深几达1厘米。盒的漆色黝黑，刀口中露出朱漆3层，每层相隔约2毫米。盖底足内光素，漆色紫黑，靠近足的边缘，针刻“张成造”3字。1956年民间损赠[8]。

日本也保存有不少元代漆器，1977年东京国立博物馆《东洋の漆工艺》展出的元代戗金漆器便有10件之多，其中有4件为“延祐年”款，有的并写明制者和产地[9]。日本出版的《世界美術全集》（修訂本）卷一四载有两件图片，当为一斑：

双鸟纹经箱。箱之正面开光内戗划2只飞翔的鹦鹉，地子用平行的横线充填，并加朵云纹。开光外划牡丹状花卉。用黄成所谓“物象细钩之间——划刷丝”的方法做成[10]。开光之上见有“存性”二字。箱上有“延祐二年栋梁神正杭州油局桥金家造”16字款。延祐二年即1315年。广岛光明坊所藏[11]。

人物花鸟纹经箱。箱长40厘米、宽20.6厘米、高25.8厘米，无款识，箱盖戗划凤凰，两侧为孔雀，前面为长尾鸟，背面为人物。图案处理亦为开光内划双鸟及朵云纹，开光外四角划牡丹纹，似与前箱同出于一个高手。但此箱边缘有嵌螺钿细壳的条带，前箱无此。吉泽家旧藏[11]。

见于考古发掘和传世的元代漆器还有一些，不再一一引述。此期漆器既有官营者，也有民营者，在技术上都达到了较高水平。官器如北京延庆“内府官物”盘，民器如“张成造”、“杨茂造”字款器。这些器物反映的技术中，最值得注意的是薄螺片、雕漆和素髹漆器三项技术，它们都从不同角度反映了元代髹漆技术的发展水平和特殊成就。

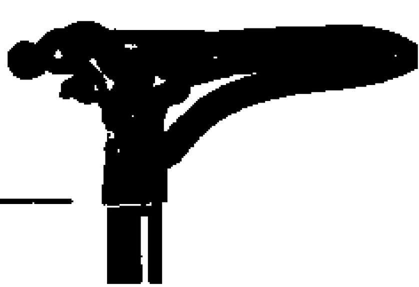
**二、髹漆工艺**

古代的许多制作工艺，往往是数百年，及至上千年皆无太大变化，髹漆工艺自然也不例外。从现有资料看，元代髹漆工艺中较值得注意的是：制胎方面，有了关于夹纻胎工艺操作的简单记载；兑漆方面，有了桐油熬制工艺的记载，并表现了较高的技术水平；装饰方面，有了戗金银工艺的记载。薄螺钿虽意义较大，可惜无更多的资料，难作进一步讨论。

（一）夹纻胎技术的发展

这主要表现在佛像制作上。唐、宋时期，夹纻胎佛像已有较大发展，元代大体上仍保持了这一趋势，其工匠中的代表性人物是刘元，有关他的事迹，多种文献都有记载。

元末陶宗仪《辍耕录》卷二四“精塑佛像”条载：“刘元，字秉元，蓟之宝坻



人，官至昭文馆大学士……其艺非一，而独长于塑。至元七年，世祖建大护国仁王寺，严设梵天佛象，特求奇工为之，有以元荐者及被召，又从阿纳噶木国公学西天梵相，神思妙合，遂为绝艺。凡两都名刹有塑土范金，搏换为佛，一出元之手，天下无以比。所谓搏换者，漫帛土偶上而髹之已，而去其土，髹帛俨然像也。昔人尚为之，至元尤妙。搏丸又曰脱活，京师语如此。"[12]这段文献的前半段说刘元生平事迹，后半段则说其夹纻胎制作佛像的工艺。说制作夹纻胎佛像，须先用泥土塑造佛像模型，再漫漆灰、布帛而髹之，髹完之后去其泥土，便髹制成佛像了。这段文字虽仍较为简单，但它依然是今见关于夹纻胎漆器操作工艺的最早记载。"夹纻"一词始见于汉，元代又称之为"搏换"、"搏丸"、"脱活"等名，清后始谓之"脱胎"。此"脱活"，大约便是"脱胎"一语的前身。

《元史》卷二〇三"工艺传"所载大体一致：阿尼哥善画塑及铸金为像，"有刘元者，尝从阿尼哥学西天梵相，亦称绝艺……至元中，凡两都名刹，塑土范金，搏换为佛像，出元手者，神思妙合，天下称之其上……搏换者，漫帛土偶上而髹之，已而去其上髹帛，俨然成像云"。元虞集《道园学古录》卷七"刘正奉塑记"[13]所记，与《辍耕录》和《元史》基本一致。

（二）鳗水

即灰膏子。《髹饰录》"质法"第一七"垸漆"载："垸漆，一名灰漆。用角灰、磁屑为上，骨灰、蛤灰次之，砖灰、坯屑、砥灰为下。皆筛过分粗、中、细，而次第布之如左，灰毕而加糙漆。"杨明注云："又有鳗水者，胜之。鳗水即灰膏子也。"[14]髹漆前抹灰膏子之事未知始于何时，但有关记载却是到了元代，才在《辍耕录》中看到的。其卷三〇"髹器"条在谈到了前述"黑光"、"朱红"操作后，接着便谈到了鳗水。其云："鳗水，好桐油煎沸以水试之，看躁也。方入黄丹、腻粉、无名异，煎一滚以水试，如蜜之状，令冷油水各等分，杖棒搅匀。却取砖灰一分、石灰一分、细面一分和匀，以前项油水搅和，调粘灰器物上，再加细灰，然后用漆，并如黑光法，或用油亦可。"[15]此"鳗水"，20世纪80年代前，北京匠师将类似的工艺称之为"找满"；鳗，或即满的谐音[16]。躁，急躁，在此指"以水试"时的沸腾情况。黄丹，即黄色的氧化铅PbO；但因金属铅或铅粉在空气中焙烧后，常为两种氧化物，即PbO和$Pb_3O_4$（铅丹）的混合物，故铅丹与黄丹，古人经常二名混用。《本草纲目》卷八引陶弘景云：铅丹，"今熬铅所作黄丹也"[17]。腻粉之名不详，或即胡粉，妇人用来胡面之物。无名异，制作青花瓷釉的一种钴锰矿，亦可入药，产于西亚和阿拉伯。这是我国古代关于制作灰膏子的最早记载。

北京传统的打满工艺中，熬制灰油的过程是这样的：先将生桐油放入锅中煎煮，缓缓调搅，及沸，再放入研细的章丹（即铅丹或黄丹）和土子。每油一斤，章丹、土子各一两。章丹经煎熬，色渐转黑，然后取出少许，滴入水碗中试之。若油入水便散，说明尚未煎成；若入水便凝成了珠状，并沉下复又浮起，便是煎成。此时锅须离火，并用勺在油内搅动，使油出烟，至油凉烟尽为止。搅动不可稍停，否则烟不得出，造成窝烟，且可能使油致燃。油冷后，用坚牢的纸（行话谓之"掩头"）将油面盖严，放在一边待用[16]。这与《辍耕录》所云熬油过程相

近，但亦有一定差别。

（三）戗金银法

此法约发明于西汉时期，历代都有使用，尤其唐、宋时期，元代亦有不少发展。“戗金”一词始见于唐，但有关其工艺操作的详细记载却是到了元代才看到的。

元陶宗仪《辍耕录》卷三〇载：“戗金银法，嘉兴斜塘杨汇髹工戗金戗银法：凡器用什物，先用黑漆为地，以针刻画，或山水树石、或花竹翎毛、或亭台屋宇、或人物故事，一一完整。然后用新罗漆，若戗金则调雌黄，若戗银则调韶粉。日晒后角挑，挑嵌所刻缝罅。金箔或银箔，依银匠所用纸糊笼罩置，金银箔在内，遂旋细切取，铺已施漆上，新棉揩拭牢实。但著漆者自然粘住，其余金银都在绵上，于熨斗中烧灰，坩埚内熔锻，浑不走失。”[18]这里谈到了戗金银法的基本操作。可知其所谓的“金银”有两种，一是具有金色的雌黄和银色的韶粉。此雌黄即 $As_2S_3$，色金黄；韶粉即胡粉，学名碳酸铅 $PbCO_3$ 或碱式碳酸铅 $Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$，色白，古代女子用作胡脸化妆。二是真金真银，掉下的细碎须设法回收。这是我国古代文献中，关于戗金操作的最早记载，简单明了。

（四）堆红

用漆灰堆起花纹后髹漆而成。曹昭《格古要论》卷下载：“堆红，假剔红，用灰团起，外面用朱漆漆之。”堆漆技术至迟发明于战国时期，故这种堆灰技术也不会太晚的。虽有关实物不是太多，再结合曹昭的文字推测，元代或元代之前，此工艺必已出现。

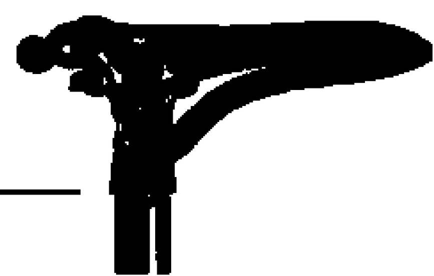
**三、陶宗仪《辍耕录》“髹器”诸条及其历史地位**

我国的髹漆技术约发明于河姆渡文化时期，但在保留至今的文字资料中，有关髹漆工艺的记载却是到了元代，才在陶宗仪《辍耕录》中看到的。五代朱遵度虽撰有《漆经》一书，可惜今已佚失。

陶宗仪，生卒年不详，字九成，号南村，浙江黄岩人，元末明初学者。元至正间举进士不第，明洪武间曾任教官。《辍耕录》之书前署有“至正丙午夏月江阴孙作大雅序”。依此，此书约成于至正二十六年（丙午，1366 年）。据“序”云，元代末年，陶九成避兵三吴间。有田一廛，家于松南；作劳之暇，每以笔墨自随。时时辍耕，休于树阴；抱膝而叹，鼓腹而歌。历十余年，随录而成此书。陶宗仪学识渊博，此外还作有《南村诗集》和《书史会要》九卷，并节录前人笔记小说编为《说郛》一〇〇卷等。

《辍耕录》并非髹漆专著，“四库全书”将其纳入“笔记小说类”，实为杂录，凡三十卷，不立卷名，卷下即为条目。如卷三〇有：“印章制度”、“银工”、“书画楼”、“髹器”、“银锭字号”、“戗金银法”等条目。本书所录髹漆工艺计为 4 条：即（1）卷一一的“西皮”条，全录自唐《因话录》；（2）卷二四的“精塑佛像”；（3）卷三〇的“髹器”和“戗金银法”，计 2 条。“髹器”条计有 3 项内容，即“黑光”、“朱红”、“鳗水”，前两项在宋代章已经提到。

《辍耕录》关于髹漆技术的记载具有重要的技术意义：（1）其关于漆器技术的 4 个条目中，除“犀皮”引自唐《因话录》外，其余皆首次见于此书。虽朱启钤《髹



饰录》“弁言”认为：“每谓《辍耕录》所载黑光、朱红、鳗水及戗金银诸法，出自朱遵度《漆经》。”但《漆经》可惜已佚失，因《辍耕录》而得以保存下来，而“鳗水”条在明代黄成《髹饰录》中亦无记述，唯杨明“注”提过而已。依此，本书的历史地位便不言自明。（2）所述工艺过程较为详细，而且笔墨洗练、深入浅出，风格清新，甚至明黄成《髹漆录》亦为之逊色。

# 参考文献


## 第一节　煤炭使用和石油开采技术的发展

[1] 鞠清远：《元代系官匠户研究》，《食货》第一卷第9期，1935年4月。

[2] 吴坤仪等：《荥阳楚村元代铸造遗址的试掘与研究》，《中原文物》1984年第1期。

[3] 王可等：《元大都遗址出土铁器分析》，《考古》1990年第7期。

[4]《马可·波罗游记》第404页，中华书局，1955年。

## 第二节　冶金技术发展的艰难历程

[1]《熬波图》，文渊阁《钦定四库全书》抄本、武汉大学出版社电子版第243碟。

[2] 吴坤仪等：《荥阳楚村元代铸造遗址的试掘与研究》，《中原文物》1984年第1期。

[3] 杨宽：《中国古代冶铁鼓风和水力冶铁鼓风炉的发明》，《中国科学技术发明和科学技术人物论集》，三联书店，1955年。

[4] 赵光林：《北京市发现一批古墓遗址和窖藏文物》，《考古》1989年第2期。

[5] 盖山林：《内蒙古包头市郊麻池出土铜范》，《考古》1965年第5期。俗称为铜范，实为制范的铜质模具。

[6] 王可等：《元大都遗址出土铁器分析》，《考古》1990年第7期。

[7] 张子高、杨根：《镔铁考》，《科学史集刊》第7期，1964年。

[8] 何堂坤：《关于镔铁的产地和工艺》，《中国国学》第25期，1997年，台湾。

[9] 何堂坤：《关于花纹钢及其模拟试验》，《锻压技术》1988年第4期。

## 第三节　元代制瓷技术的发展

[1] 关甲堃等：《论元代的钧瓷》，《考古与文物》1990年第3期。

[2] 中国科学院考古研究所等：《北京西绦胡同和后桃园的元代居住遗址》，《考古》1973年第5期。

[3] 陕西省考古研究所铜川工作站：《耀州窑作坊和窑炉遗址发掘简报》，《考古与文物》1987年第1期。

[4] 周仁等：《中国历代名窑陶瓷工艺的初步科学总结》，《考古学报》1960年第1期。

[5] 苏继庼：《"岛夷志略"校释》，中华书局，1981年5月。

[6] 彭适凡等：《"岛夷志略"中的"青白花瓷器"考》，《中国古代陶瓷的外销》，紫禁城出版社，1988年。

[7] 张浦生等：《元代景德镇青花瓷器的外销》，《中国古代陶瓷的外销（一九八七年福建晋江年会论文集）》，紫禁城出版社，1988年。

[8] 陈尧成等：《历代青花瓷和着色青料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[9] 郭演仪：《中国制瓷原料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[10] 周仁、李家治：《中国历代名窑陶瓷工艺的初步科学总结》，《考古学报》1960 年第 1 期。彭子成等：《用 EDXRF 方法研究临江诸窑场古瓷胎的化学组成分区特征》，《南方文物》1997 年第 4 期。

[11] 李家治等：《杭州凤凰山麓老虎洞出土瓷片的工艺研究》，《建筑材料学报》2000 年第 4 期。

[12] 陈显求等：《元大都哥窑型和青瓷残片的显微结构》，《硅酸盐学报》1980 年 2 期。

[13] 周仁等：《历代龙泉青瓷烧制工艺的科学总结》，《考古学报》1973 年第 1 期。

[14] 郭演仪等：《古代龙泉青瓷和瓷石》，《考古》1992 年第 4 期。

[15] 陈尧成等：《玉溪、建水窑青花瓷器研究》，《中国陶瓷》1989 年第 6 期。

[16] 洪石：《陕西铜川市发现耀州窑纪年陶范》，《考古》2003 年第 2 期。

[17] 陈显求等：《湖田影青、枢府瓷的结构和影青瓷釉的 ESR 谱》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[18] 张浦生：《近年来中国青花瓷工艺的发现与研究》，《东南文化》1993 年第 3 期。

[19] 唐昌朴：《江西吉州发现宋元青花瓷》，《文物》1980 年第 4 期。

[20] 中国硅酸盐学会：《中国陶瓷史》第 338 页、第 339 页、第 343 页，文物出版社，1982 年。

[21] 葛季芳：《云南罗州窑和白龙窑调查纪要》，《中国古代陶瓷的外销（一九八七年福建晋江年会论文集）》，紫禁城出版社，1988 年。

[22] 葛季芳：《云南玉溪发现古瓷址》，《考古》1962 年第 2 期。

[23] 魏达议等：《论会理青花瓷窑》，《四川古陶瓷研究》，四川省社会科学出版社，1984 年。

[24] 蔡利民等：《罕见的元代瓷珍品——青花花盆》，《东南文化》1994 年增刊 1。

[25] 杨后礼：《馆藏元代景德镇民窑青花瓷》，《文物研究》总第 10 期，1995 年。

[26] 陈尧成等：《中国元代青花钴料来源的探讨》，《中国陶瓷》1993 年第 5 期。

[27] 陈尧成等：《元代青花瓷器的研究》，《中国陶瓷》1984 年第 4 期。

[28] 马文宽：《唐青花瓷研究——兼谈我国青花瓷所用钴料的某些问题》，《考古》1997 年第 1 期。

[29] 周世荣：《长沙古瓷窑的彩釉彩绘装饰》，《考古》1990 年第 6 期。

[30] 马文宽、孟凡人：《中国古瓷在非洲的发现》第 47 页，紫禁城出版社，1987 年。

[31]《中华人民共和国出土文物选》图 97，文物出版社，1976 年。

[32] 河北省博物馆：《保定市发现一批元代瓷器》，《文物》1965 年第 2 期。图版壹。

[33] 杨厚礼等：《江西丰城发现元纪年青花釉里红瓷器》，《文物》1981 年第 11 期。

[34] 刘裕黑等：《江西高安发现元青花、釉里红等瓷器窑藏》，《文物》1982 年第 4 期。

[35] 刘裕黑：《谈谈高安元代青花釉里红瓷的几个特色》，《文物研究》总第 10 期，1995 年。

[36] 杨道以：《元釉里红芦雁纹匜》，《中国文物报》1997 年 5 月 25 日。

[37] 彭明瀚：《青花釉里红开光花乌纹罐》，《中国文物报》1998 年 6 月 14 日。作者说 1980 年江西高安出土元代瓷器 238 件，有青花器 19 件，釉里红器 4 件。

[38] 转引自李辉柄：《略谈中国瓷器考古的主要收获》，《故宫博物院院刊》1989 年第 4 期。

[39] 郭演仪：《古代景德镇瓷器胎釉》，《中国陶瓷》1993 年第 1 期。

[40] 陈显求等：《湖田影青、枢府瓷的结构和影青瓷釉的 ESR 谱》，《中国古代陶瓷科学技术成就》第 277 页，上海科学技术出版社，1985 年。

[41] 周世荣：《石渚长沙出土的瓷器及其有关问题的研究》，《中古代窑址调查发掘报告

集》，文物出版社，1984年。

[42] 陕西博物馆等：《唐郑仁泰墓发掘简报》，《文物》1972年第7期。

[43] 刘振群：《窑炉的改进和我国古陶瓷发展的关系》，《中国古陶瓷论文集》文物出版社，1982年。

[44] 德化古瓷窑址考古发掘工作队：《福建德化屈斗宫窑址发掘简报》，《文物》1979年第5期。

[45] 中国社会科学院考古研究所等建窑考古队：《福建建阳县水吉建阳窑遗址1991～1992年度发掘简报》，《考古》1992年第2期。

[46] 李家治等：《中国历代南北方著名白瓷》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[47] 黄炳元：《福建南安石壁水库古窑址试掘情况》，《文物参考资料》1957年第12期。

[48] 刘新园等：《景德镇湖田窑考察纪要》，《文物》1980年第11期。

[49] 王上海：《从景德镇制瓷工艺的发展谈葫芦形窑的演变》，《文物》2007年第3期。

[50] 李德金：《浅谈龙泉窑的窑炉结构》，《中国考古学研究——夏鼐先生考古五十周年纪念论文集》，文物出版社，1986年。

[51] 熊寥主编：《中国陶瓷古籍集成》第30页，江西科学技术出版社，2000年。

## 第四节　棉纺技术的兴起和丝织业的发展

[1] 汉桓宽：《盐铁论》："古者庶人耆老而后衣丝，其余则仅衣麻枲，故曰布衣。"

[2]《资治通鉴》卷一五九，胡三省音注。文渊阁《钦定四库全书》，台湾商务印书馆版（1986年）第307册第418页。

[3]《元史》卷一五，见《二十五史》第7277页，上海古籍出版社等，1986年。

[4]《元史》卷一六"世祖纪"载：至元二十八年五月，"罢涨南六提举司岁输木绵"。见《二十五史》第7280页，上海古籍出版社等，1986年。

[5]《元史》卷九三，《二十五史》第7508页，上海古籍出版社等，1986年。

[6]《新元史》卷六八"食货志一·科差"。

[7] 章楷：《我国历史上栽培棉花种类的演变》，《农业研究》第五辑，农业出版社，1985年。

[8] 于绍杰：《中国植棉史考证》，《中国农史》1993年第2期。

[9] 元司农司：《农桑辑要》卷二载："待棉欲落时为熟。旋熟即摘，随即摊于箔上，日曝夜露，待子粒干取下。用铁杖一条，长二尺，粗如指，两端渐细，如赶饼杖样；用梨木板，长三尺，阔五寸，厚二寸，做成床子，逐旋取棉子置于板上，用铁杖旋旋赶出子粒，即为净棉。捻织毛丝或棉装衣服，特为轻暖。"

[10]《农政全书》卷三五"木棉搅车"条，其中说明代搅车，一人可当三人；太仓式两人可当八人，自然是脚踏的。明宋应星《天工开物》图示了脚踏式搅车。

[11]《农桑直说》，见王祯《农书》卷二〇"茧缫门·热釜"、"茧缫门·冷盆"两节所引。

[12] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第404页，科学出版社，1984年。原物为山西省博物馆所藏。

[13] 潘行荣：《元集宁路故城出土的窖藏丝织物及其他》，《文物》1979年第8期。

[14] 明叶子奇：《草木子》卷三，第31页。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版。此"杂制篇"之"制"乃是形制之制，而非制(製)造之制(製)。





[15] 王炳华：《盐湖古墓》，《文物》1973 年第 10 期。

[16]《多能鄙事》，上海荣华书局版，1917 年。

[17] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 244 页，科学出版社，1984 年。

[18]《格物麤谈》卷下“服饰”条，《四库全书存目丛书》子部 117－18，齐鲁书社，1995 年。原为江西省图书馆藏涵芬楼影印清道光十一年六安晁氏木活字，学海类编本。

[19] 袁宣萍：《元代的丝绸业》，《丝绸史研究》1988 年第 4 期。

[20] 湖南省博物馆：《长沙马王堆一号汉墓》第 56 页，金银色印花纱。文物出版社，1973 年。

[21] 新疆维吾尔自治区博物馆：《新疆出土文物》第 111 页，图 136，敷金彩，文物出版社，1975 年。

[22] 李逸友：《谈元集宁路遗址出土的丝织物》，《文物》1979 年第 8 期。

## 第五节　机械技术

[1] 李崇州：《中国古代各类灌溉机械的发明和发展》，《农业考古》1983 年第 1 期。

[2] 元熊梦祥：《析津志辑佚》（北京图书馆善本组辑）第 110 页，北京古籍出版社，1983 年。

[3] 刘仙洲：《中国古代农业机械发明史》第 50 页，科学出版社，1963 年。

[4] 梅苞：《天文计时仪器的发展与展望》，《计时仪器史论丛》（第一辑），中国计时仪器史首次学术讨论会专辑，1994 年 5 月。

[5] 见《古今图书集成》卷九八“历法典”。

[6] 磁县文化馆：《河北磁县南开河村元代木船发掘简报》，《考古》1978 年第 6 期。

[7]《元史》卷七“世祖纪四”，《二十五史》7253. 1，上海古籍出版社等，1986 年。

[8]《元史》卷八“世祖纪五”，《二十五史》7255. 3，上海古籍出版社等，1986 年。

[9]《元史》卷一一“世祖纪八”。

[10]《元史》卷二〇八“高丽传”。

[11]《元史》卷二〇八“日本传”。

[12]《元史》卷一八九“儒学传・金履祥”：“履祥因进牵制擣虚之策，请以重兵由海道直趋燕蓟，则襄樊之师将不攻自解。”

[13] 孙光圻：《中国古代航海史》第 392～404 页，海洋出版社，1989 年。

[14] 李德金等：《朝鲜新安海底沉船中的中国瓷器》，《考古学报》1979 年第 2 期。

[15] 船史研究会：《记韩国 MBC 电视台三次访问船史研究会》，《船史研究》1997 年第 11 期、第 12 期。

[16] 席龙飞等：《蓬莱古船及其复原研究》，《武汉水运工程学报》1989 年第 1 期。

[17] 席龙飞：《中国造船史》第 194～219 页，湖北教育出版社，2000 年。

## 第六节　造纸技术

[1]《（弘治）徽州府志》，《四库全书存目丛书》史部 180－642，齐鲁书社据天一阁原版影印，1996 年。

[2] 元费著：《蜀笺谱》，见元陶宗仪《说郛》（第一一八册）卷九八，第 67 页。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 319 碟。又，《格致镜原》卷三七（第十六册）“文具类・纸”曾有摘引，见文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第

335 碟。

[3] 陈开俊等译:《马可·波罗游记》，福建科学技术出版社，1982 年。书中所言造纸之所不知是否指今北京城南的白纸坊，但白纸坊并不在元大都内。《辍耕录》(第十册) 卷二一"宫阙制度"却是说到过，礼部下设有教坊司、铸印局、白纸坊等（见文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 336 碟)。此后者当即造纸之所，其名称一直沿用至今，旧址在今北京城南。

[4] 无锡市博物馆:《江苏无锡市元墓中出土一批文物》,《文物》1964 年第 12 期。

[5] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第 195 页，科学出版社，1998 年。

[6] 戴家璋:《中国造纸技术简史》第 217 页，中国轻工业出版社，1994 年。

[7] 见《笔记小说大观》第十六册，第 61 页，江苏广陵古籍刻印社，1984 年。

[8]《格致镜原》(第十六册) 卷三七"文具类·纸"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[9] 明张应文:《清秘藏》卷上（第 24 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 318 碟。

[10] 明文震亨:《长物志》(第二册) 卷七"器具·纸"（第 20 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 318 碟。

## 第七节　印刷技术的发展

[1] 明陆容:《菽园杂记》卷一〇"古人书籍"条（第三册，第 18 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 336 碟。

[2] 清蔡澄:《鸡窗丛话》,《丛书集成续编》90－1005，上海书店，1994 年。

[3] 清叶德辉:《书林清话》(1911 年) 卷七第 4 页:"有经由各省守镇分司，呈请本道肃政廉访使，行文本路总管府事下儒学者；有由中书省所属，呈请奉准施行，展(辗)转经翰林国史院、礼部详议，照准行文各路者，事不一例。然多在江浙间。"《民国丛书》第二编第 50 册，上海书店，1990 年。据宣统辛亥年观古堂刻本影印。书前有叶德辉宣统辛亥年自述。

[4] 张秀民:《元明两代的木活字》，载《张秀民印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988 年。

[5] 张秀民:《中国印刷史》第 669～670 页，上海人民出版社，1989 年。

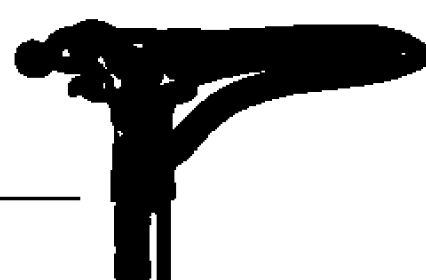
[6] 罗福苌:《〈大方广佛华严经〉卷一释文》,《北平图书馆馆刊》第四卷第三期，西夏文专刊，1930 年。1917 年 9 月宁夏灵武出土的西夏文经书多为京师图书馆(现中国国家图书馆)收藏。周叔迦于 1930 年对这批经书做了一次较为全面的整理，计有经论 13 种 100 册，其中《大方广佛华严经》占 63 册。上虞罗氏、仁和邵氏曾得其第一卷至第十卷 10 册；1922 年，经王国维考察，认定其为元刊本，并断定其为元大德（1297～1307 年）间杭州路大万寺雕刻的西夏文大藏经，3620 余卷中的一部分。罗振玉之子罗福苌将其卷一的前 3 页译成了汉文，其兄罗福成于译文后注道:"右刊本每半页 6 行，行 17 字，为河西《大藏经》，雕于大德年中。自第一卷至第十卷完全无缺，现藏仁和邵氏。节录其首页原文与释文读之如左。附活字印本一页。"罗福成在此明确指出了该经为西夏文活字印本。

[7] 王静如:《西夏文木活字版佛经与铜牌》,《文物》1972 年第 11 期。

[8] 张思温:《活字版西夏文〈华严经〉卷十一至卷十五简介》,《文物》1979 年第 10 期。

[9] 史金波、黄润华:《北京图书馆藏西夏文佛经整理记》,《文献》1985 年第 5 期。

[10] 牛达生:《元刊木活字西夏文佛经〈大方广佛华严经〉的发现、研究及版本价值》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996 年。



[11] 卡特:《中国印刷术的发明和它的西传》第187~188页,商务印书馆,1957年。

[12] 元人李洧孙:《知州马称德去恩碑记》,《顺治奉化县志》卷一三、康熙《奉化县志》(1686年)卷一一引。

[13] 张秀民:《中国印刷术的发明及其影响》第83页,人民出版社,1958年。

[14] 张秀民:《王祯传》,《中国古代科学家》,科学出版社,1959年。

[15] 张秀民:《中国印刷史》第673页,上海人民出版社,1989年。

[16] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第388页,科学出版社,1998年。

[17] 元姚燧:《牧庵集》(第四册)卷一五第5页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第415碟。

[18] 张秀民、韩琦:《中国木活字印刷史》第14页,中国书籍出版社,1998年。

[19] 张秀民:《中国印刷史》第326页,上海人民出版社,1989年。

[20] 无锡市博物馆:《江苏无锡市元墓中出土一批文物》,《文物》1964年第12期。

## 第八节 火药火器技术的发展

[1] 周密:《癸辛杂识·砲祸》第15页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第336碟。

[2] 晁华山:《西安出土的元代手铳与黑火药》,《考古与文物》1981年第3期。

[3] 陕西省化工设计研究院:《古代黑火药分析报告》,《考古与文物》1981年第3期。

[4] 《宋史》卷一九七“兵志十一”,《二十五史》第5796页,上海古籍出版社等,1986年。

[5] 魏国忠:《黑龙江省阿城县半拉城子出土的铜火铳》,《文物》1973年第11期。

[6] 钟少异等:《内蒙古新发现元代铜火铳及其意义》,《文物》2004年第11期。

[7] 王冠倬:《火炮浅议》,《中国历史博物馆馆刊》1984年总第6期。

[8] 余杭市文物管理委员会:《新发现张士诚“天佑”年铭铳小考》,《中国古代火药火器史研究》,中国社会科学出版社,1995年。

[9] 郝颜飞:《安徽合肥出土元代铜铳》,《文物研究》总第8期,1993年。

[10] 黄冬梅:《清江出土的铜火铳和八思巴文铜钱》,《江西历史文物》1987年第1期。

[11] 王荣:《元明火铳的装置复原》,《文物》1962年第3期。

[12] 河北省博物馆:《河北出土文物选集》第232页,文物出版社,1980年。

[13]《中国军事百科全书》第5卷第427页,军事科学出版社,1997年。

[14]《保越录》,一卷,第21页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第223碟。“四库提要”说其未具作者名,今一般认为是元徐勉之撰。

[15] 钱谦益:《国初群雄事略》卷四“汉陈友谅”,第103页,中华书局,1982年。

[16] 杨维桢:《铜将军》诗,载《铁崖古乐府补》第四册卷六第4页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第417碟。

[17] 张宪:《玉笥集·铁礮行》,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第417碟,第二册第30页。

[18] 马非白:《谈周炮的年代问题》,《文物参考资料》1955年第7期。

[19] 成东:《碗口铳小考》,《文物》1991年第1期。

[20] 成东:《中国古代火炮发明问题的新探讨》,《中国古代火药火器史研究》,中国社会科学出版社,1995年。

## 第九节 指南针技术的推广


[1] 河北省文化局文物工作队：《观台窑址发掘报告》，《文物》1959年第6期。

[2] 李辉柄：《磁州窑遗址调查》，《文物》1964年第8期。此文对“王”字碗说得较为简单，详见文献[5]。

[3] 许明纲：《旅大市发现金元时期文物》，《考古》1966年第2期。

[4] 磁县文化馆：《河北磁县南开河元代木船发掘简报》，《考古》1978年第6期。

[5] 王振铎：《试论出土元代磁州窑器中所绘磁针》，《中国历史博物馆馆刊》总第1辑，1979年。江苏丹徒、北京，以及部分磁州窑器资料皆引自此文。

[6] 元赵友钦撰、明王祎刊定：《重修革象新书》卷下“地有偏向”。赵友钦原本《革象新书》卷四“偏远准(凖)则”所载基本一致。皆见文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第310碟。

[7] 元程棨《三柳轩杂识·指南鍼》，元陶宗仪《说郛》（第三十二册）卷二四下“传讲杂记”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[8] 周达观：《真腊风土记》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第236碟，台湾商务印书馆版594－54。

[9] 向达校注：《两种海道针经》，中华书局，1961年。

[10] 章巽：《论〈海道经〉》，《章巽文集》，海洋出版社，1986年。

[11] 《中国科学技术史·交通卷》第496页，第十三章由朱鉴秋执笔，科学出版社，2004年。


## 第十节 髹漆技术


[1] 《格古要论》卷下“古漆器论”，文渊阁《钦定四库全书》，台湾商务印书馆景印版871－108～109。

[2] 沈令昕等：《上海市青浦县元代任氏墓葬记述》，《文物》1982年第7期。

[3] 无锡市博物馆：《江苏无锡市元墓中出土一批文物》，《文物》1964年第12期。

[4] 中国科学院考古研究所等：《元大都的勘查和发掘》，《考古》1972年第1期。

[5]《无产阶级文化大革命期间出土文物展览简介》，《文物》1972年第1期。

[6] 高桂云等：《元代“内府官物”漆盘》，《文物》1985年第4期。

[7] 魏松卿：《元代张成与杨茂的剔红雕漆器——记故宫博物院重要藏品之一》，《文物参考资料》1956年第10期。

[8] 王世襄:《记安徽省博物馆所藏的元张成造剔犀漆盒》，《文物参考资料》1957年第7期。

[9] 王世襄：《中国古代漆工艺》，《中国美术全集·工艺美术编8·漆器》，文物出版社，1989年。

[10]《髹饰录解说》“戗划”第十一“戗金”，文物出版社，1983年。明庆隆间黄成原著，明天启间杨明注，今人王世襄解说。此引黄成原话，见第136页。

[11] 原出自日本《世界美术全集》（修订本），今转引自《髹饰录解说》第138～139页。

[12] 元陶宗仪：《辍耕录》（第十二册）卷二四（第11页）“精塑佛像”条，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第336碟。

[13] 元虞集：《道园学古录》（第六册）卷七（第24页）“刘正奉塑记”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第416碟。





[14]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。“质法”第十七“棬榛”，黄成原文及杨明注，皆见第 171 页。

[15] 元陶宗仪：《辍耕录》第十四册卷三〇第 11 页“髹器·鳗水”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 336 碟。

[16]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 172 页。

[17]《本草纲目》卷八“铅丹·集解”引。

[18] 元陶宗仪：《辍耕录》第十四册卷三〇第 17 页“戗金银法”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 336 碟。

# 第八章

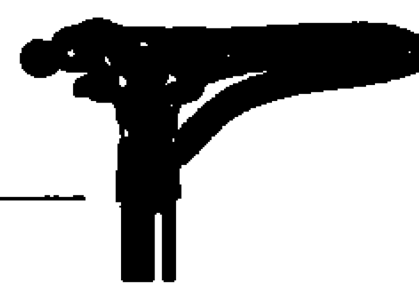
## 集大成的明代手工业技术

1368年（至正二十八年），元顺帝退出大都（今北京市），朱元璋在应天（今南京市）登极，建立了明朝；至1644年朱由检自缢煤山，明亡，凡276年。明代是我国古代封建社会发展的又一个高峰期，也是我国古代科学技术集大成的重要阶段。

明代建国后，在政治上采取了几项较为重要的措施：一是扫除元朝残部、征讨各地割据势力，完成国家统一大业。这期间，朱元璋吸取了元代施行民族奴役政策的教训，攻占元大都后，便下令废除民族歧视，说蒙古人、色目人、华夏诸族类，皆“同生天地之间”，“与中夏之民抚养无异”[1]；凡有才能者，准许不次升用。这便为民族团结和国家稳定打下了良好的基础。洪武二十七年（1394年）编辑《寰宇通志》时，其疆域已东达朝鲜边境，西及土蕃，南及安南，北距大碛，成为当时世界上最为幅员辽阔、势力强大的国家之一。二是对中央和地方机构进行了一系列改革，进一步确立和完善了君主极权制；撤销了“行中书省”，以削弱地方权力；废除了丞相制，将权力集中于皇帝一人。三是大封诸子为王，以永延帝祚。朱元璋出身微寒，曾为生计而投入空门，深知民间疾苦，故其建国后，较为注意与民休养生息，轻赋税，严禁兼并，惩饬贪劣，兴修水利，奖励垦殖，实行军垦，军饷不仰藉于县官，为人民减免边运杂税。使农业、手工业、商业、航海事业、科学技术和文化事业都较快地恢复和繁荣起来。此期的手工业也获得了较大发展，尤其是民营手工业，甚至超过了官府手工业的水平，许多地方还出现了资本主义萌芽。另外，明代中后期还出现了一些新的学术思想，尤其是王守仁（1472～1528年）提出的“知行合一”观，以及泰州学派的王艮等强调“百姓日用之学”，对明代科学技术的发展都有一定影响。在我国历史上，元代的科学技术是有过一些成就的，但其社会经济却一直处于低谷；明代的科技成就和生产水平等诸多方面，不但超过了元代，而且超过了宋代，达到了我国古代史上又一个新的高峰。采矿、冶铸、机械、纺织、陶瓷、造船、火药、造纸技术等多项手工业技术，都达到了集大成的阶段。不论官营手工业，还是民营手工业，都取得了长足的进步，这种繁荣状况一直延续到了明代中期。此时，我国的生产力发展水平和科技水平，在世界上依然是领先的。明代中期之后，由于政治腐败，国力亦逐渐衰落下来。

### 第一节　采矿技术的大发展

明代初年，最高统治者对矿业十分慬慎，主要是担心扰民，尤其是官办矿业。



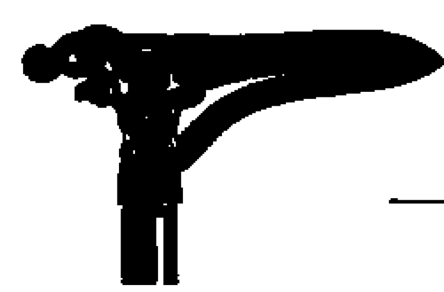
《明史》卷八一“食货·坑冶”载：“坑冶之课，金银铜铁铅汞硃砂青绿，而金银矿最为民害。徐达下山东，近臣请开银场，太祖谓银场之弊，利于官者少，损于民者多，不可开。其后有请开陕州银矿者，帝曰土地所产，有时而穷，岁课成额，征银无已。言利之臣皆戕民之贼也。临淄丞乞发山海之藏，以通宝路，帝黜之。”嵇璜等《续文献通考》卷二三“征榷·坑冶”载，洪武十五年五月，广平府（今河北永年县）吏王允道言：“磁州临水镇地产铁，元时尝于此置铁冶提举司，总辖沙窝等八冶，炉丁万五千户，岁收铁百余万斤，请如旧置冶铁。帝曰，闻治天下无遗贤，不闻天下无遗利。各冶铁数尚多，军需不乏，而民生业已定，若复设此，必扰之。是又欲驱万五千户于铁冶之中。命杖之，流海外”。这种矿业政策延续了相当长一个时期，《明史》卷八一“食货·坑冶”继而载道：“成祖斥河池民言采矿者。仁、宣仍世禁止，填番禺坑洞，罢嵩县白泥沟发矿”。当然，明代初年也开采过一些矿藏，同书同卷同条载：“福建尤溪县银屏山银场局炉局四十二座始于洪武末年，浙江温、处、丽水、平阳等七县亦有场局，岁课皆两千余两。永乐间开陕州商县凤凰山银坑八所”。这些，皆可见明初矿业政策之一斑。大约永乐十年之后，随着社会经济的发展，矿业政策就逐渐发生了一些变化，最后遂走上了前代矿业的老路。总体上看，明代矿业是较为发达的，不管金属矿还是非金属矿，技术上都获得了多项重要成就，其中又以井盐技术成就最高。

## 一、铁矿和铜矿开采技术

### （一）铁矿开采技术

我国古代用于冶炼的铁矿石至迟始采于西周时期，但稍见详细的记载却是到了明代才看到的。虽依然较为简单，但却反映了古代采铁技术的发展状况。

《天工开物》卷一四“五金·铁”条载：“凡铁场，所在有之。其质浅浮土面，不生深穴，繁生平阳岗埠，不生峻岭高山。质有土锭、碎砂数种。凡土锭铁，土面浮出黑块，形似秤锤，遥望宛然如铁，燃之则碎土。若起冶煎炼，浮者拾之，又乘雨湿之后牛耕起土，拾其数寸土内者。耕垦之后，其块逐日生长，愈用不穷。西北甘肃、东南泉郡，皆锭铁之薮也。燕京、遵化与山西平阳，则皆砂铁之薮也。凡砂铁，一抛土膜，即现其形，取来淘洗，入炉煎炼，熔化之后，与锭铁无二也。”在此，宋应星说到了铁矿石埋藏情况、种类、开采和加工方法。此述主要是露天开采。“其质浅浮土面”四句，所云当是一种沉积变质铁矿床，是一些贫矿经长期风化、淋滤去硅等作用，而成富矿沉积下来的，风化作用较深。有学者认为，今江西分宜县的贵山采冶遗址，便是宋应星著《天工开物》铁业采冶的主要依据，贵山铁矿也是露天开采的，那一带至今还保留有名叫“铁坑村”的地名[2]。宋应星谈到的铁矿种类主要有“土锭铁”和“砂铁”。前者捻之则碎，说明其结构较为松散；砂铁在我国分布较广，遵化铁厂是明代一个重要的钢铁基地[3][4]，所用便主要是砂铁。总的来看，此采矿方法较为简单，凡土锭铁，既可俯首拾起，亦可雨后以牛耕出而拾起；凡砂铁，取来淘洗则可。这是今见文献中关于铁矿开采最早的专门性记载。当然，此关于铁矿种类、埋藏情况、开采方法的描述还是不太全面的，明和明代以前开采的铁矿决不止露天开采一种。在“深穴”和“峻岭高山”中，也是藏有铁矿的。而且，明嘉靖四十五年《徽州府志》卷七便谈到过地





下开采，其云："凡取矿，先认地脉，租赁他人之山，穿山入穴，深数丈，远或至一里。矿尽又穿他穴……即得矿，必先烹炼，然后入炉，煽者、看者、上矿者、取矿沙者、炼生者，而各有其任，昼夜轮番"。此"穿山入穴，深数丈，远或至一里"，可见其井巷是较深较长的。此"烹炼"当指焙烧。

（二）铜矿开采技术

明代文献已有多段关于采铜技术的记载，尤以《龙泉县志》所述最为详明。

明陆容《菽园杂记》卷一四引《龙泉县志》[1]，在谈到处州采铜法时说："采铜法：先用大片柴不计段数，装叠有矿之地，发火烧一夜，令矿脉柔脆。次日火气稍歇，作匠方可入身，动锤尖采打；凡一人一日之力，可得矿二十斤，或二十四五斤。每三十余斤为一小箩，虽矿之出铜多少不等，大率一箩可得铜一斤。每烀铜一料，用矿二百五十箩，炭七百担，柴一千七百段，雇工八百余"。此处说到了井下采铜的一些基本过程和铜的品位，是我国古代文献中关于采铜技术的一段较为详明的记载。采铜时，先须火烧，之后用锤尖采打。火爆法在我国早已广泛使用，明代水利建设中亦可看到。《明史》卷八七"河渠志五"载，明嘉靖间，王献在山东开凿运河，得知"元人尝凿此道，遇石而止"。"献乃于旧所凿地迤西七丈许凿之，其初土石相半，下则皆石，又下，石顽如铁。焚以烈火，用水沃之，石烂化为烬"。自然，火烧水沃，效果会更佳。

**二、金银矿的开采**

明代的金银矿开采量较大，在开采技术上值得注意的事项是：砂金开采技术有了进步、脉金开采的记载更加明确，银矿采冶也都有了更为明确的记载。

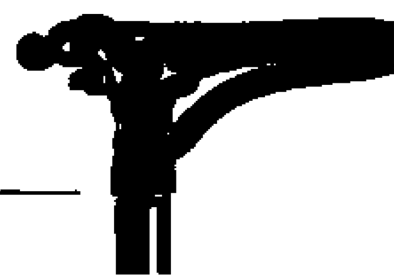
（一）关于金矿的产状和分类

宋应星《天工开物》卷一四"五金·黄金"条载："凡中国产金之区，大约百余处，难以枚举。山石中所出，大者名马蹄金，中者名橄榄金、带胯金，小者为瓜子金。水沙中所出，大者名狗头金，小者名麸麦金、糠金。平地掘井得者，名面沙金，大者名豆粒金，皆待先淘洗后冶炼而成颗块。"在此，宋应星依自然金的产状，先将之分成了"山石金"、"水沙金"、"平地金"三种，后又依其颗粒度，将之分成了若干个等级[2]。这种分类已往文献虽也提及，但无此详明。"水沙金"、"平地金"，皆属自然金；看来此"山石"中所出者也是一种沙金，而非脉金；这对我们理解前引隋苏玄明《宝藏论》所云"山金"是有一定帮助的。此引文的最后一句说先淘后冶，这是沙金采冶的基本流程。

---

① 陆容《菽园杂记》卷一四载，该卷的"五金之矿"、"青瓷"、"韶粉"、"採铜法"、"香蕈"五条皆引自《龙泉县志》，而非陆容原著。今世学者往往忽视了这一点。其中的"五金之矿"条主要说的是银矿采冶。此《龙泉县志》成书年代不详，陆容为明成化丙戌（1466年）进士。

② 砂金的分类方法在不同的国家和地区都不尽相同。吉林省冶金研究所等编《金的选矿》（第266～267页，冶金工业出版社，1978年）将之分为六种，即：（1）大块金，大于5毫米；（2）粗粒金，5～1.65毫米（10目）；（3）中粒金，1.65～0.83毫米；（4）细粒金，0.83～0.42毫米；（5）微粒金，0.42～0.15毫米；（6）最微粒金，小于0.15毫米。但也有人将之分为五种，即：块金、粗粒金、中粒金、细粒金、粉状金，中间三种皆可用淘洗法收集；并认为古所谓"麸金"约相当于中粒砂金，直径0.25～2毫米，约2200粒为一两；瓜子金约相当于粗粒金；糠金相当于此细粒金；粒度小于0.05毫米者，今谓粉金，须用混汞法才能收集，淘洗法是为之乏力的，大约古人也很难提取。



《天工开物》卷一四“五金・黄金”又进一步说道：“金多出西南。取者穴山至十余丈，见伴金石，即可见金；其石褐色，一头如火烧黑状。水金多者出云南金沙江（原注：古名丽水）。此水源出土蕃，绕流丽江府，至于北胜州，回环五百余里，出金者有数截。又川北潼川等州邑与湖广沅陵、溆浦等，皆于江沙水中淘沃取金。千百中间有获狗头金一块者，名曰金毋（母），其余皆麸麦形。入冶煎炼，初出色浅黄，再炼而后转赤也。儋、崖有金田，金杂沙土之中，不必深求而得，取太频则不复产；经年淘炼，若有则限。然岭南夷獠洞穴中，金初出如黑铁落，深挖数丈得之黑焦石下。初得时咬之柔软，夫匠有吞窃腹中者，亦不伤人。河南蔡、巩等州邑，江西乐平、新建等邑，皆平地堀深井取细沙淘炼成，但酬答人功，所获亦无几耳。大抵赤县之内，隔千里而一生。”在此，宋应星说到了明代的主要产金地，并简要地述说了各种金的产状及获取方法。

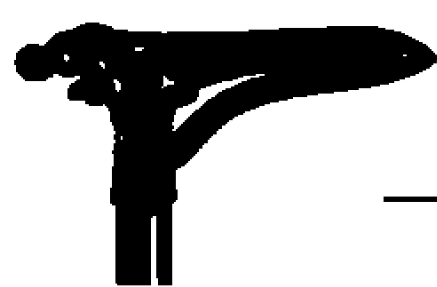
（二）关于脉金的开采

我国古代对脉金的开采当始于宋或宋前，明代又有了进一步发展。（乾隆）《浙江通志》卷一〇七“物产七・温州府”引《龙泉县志》云：“黄银即淡金。其采炼之法与白银略不同。此矿脉浅，无穿岩破洞之险。每得矿不限多少，俱舂碓成粗粉，然后以水浸入，磨成细粉，仍贮以木桶浸之。用杨梅树皮渍搅数次，石粉浮而金粉沉，乃用金盆如洗银法洗之。”此金矿须“舂碓成粗粉”再作淘洗，显然是脉金。故此脉金开采的基本步骤是：（1）由岩中采出；（2）舂碓成粗粉；（3）浸水后磨成细粉；（4）用杨梅树皮水浸渍，此液可改善表面张力，提高浮选效果。这是我国古代关于浸渍浮选法的最早记载。从现代技术看，黄银（银金矿）的含银量一般在20%以上，其色远较金为淡，故谓淡金。我国山东、浙江等地的金银矿皆属火山岩、次火山岩矿，与《龙泉县志》描写的“矿脉较浅，无穿岩破洞之险”正好相符。

（三）银矿之开采

我国古代的炼银技术约发明于春秋战国时期，但有关银矿开采稍见详细的记载却也是到了明代才看到的。明陆容《菽园杂记》卷一四在谈到五金之矿时，曾引《龙泉县志》，系统地谈到了银矿开采、破碎、淘洗，及至冶炼的整个过程。其云：“五金之矿，生于山川重复，高峰峻岭之间，其发之初，惟于顽石中隐见矿脉，微如毫发。有识矿者得之，凿取烹试，其矿色样不同，精粗亦异。矿中得银多少不定。或一箩重二十五斤，得银多至二三两，少或三四钱。矿脉深浅不可测，有地面方发而遽绝者，有深入数丈而绝者，有甚微久而方阔者，有矿脉中绝而凿取不已，复见兴盛者，此名为过壁。有方采于此，忽然不现，而复发于寻丈之间者，谓之虾蟆跳。大率坑匠采矿，如虫蠹木。或深数丈，或十丈，或数百丈，随其浅深，断绝方止。旧取矿携尖铁及铁锤，竭力击之，凡数十下，仅得一片。今不用锤尖，惟烧爆得矿。”这里详细谈到了银的产状和开采方法，是一段难得的资料，并谈到了火爆法开采。在此值得一提的是，有学者认为其中的“烧爆得矿”并非火爆法，而是火药爆破，可以进一步研究。但地下瓦斯较多，故在古代技术条件下，火药爆破是较危险的。

《菽园杂记》又引《龙泉县志》继续谈到了矿石的破碎和洗选：“矿石不拘多





少，采入碓坊，舂碓极细，是谓矿末。次以大桶盛水，投矿末于中，搅数百次，谓之搅粘。凡桶中之粘，分三等：浮于面者谓之细粘，桶中者谓之梅砂，沉于底者谓之粗矿肉。若细粘与梅砂，用尖底淘盆，浮于淘池中，且淘且汰，泛扬去粗，留取其精英者。其粗矿肉，则用一木盆，如小舟然；淘汰亦如前法。大率欲淘去石末，存其真矿，以桶盛贮，璀璨星星可现，是谓矿肉。”此操作要点是：矿石须粉碎至极细；浸润时须搅数百次；矿“粘”须分级且采用不同方式处理，以提高收得率；最后得到的矿肉，即是精矿。

关于明代铅、锡矿开采技术，《天工开物》卷一四也曾提及，但较简单，且技术资料不多，待下节炼锡、炼铅部分再作介绍。

**三、采煤技术的发展**

我国古代对煤炭的认识和利用约可上推到仰韶文化时期，及明，其使用更为普遍，开采技术和认识水平都有了较大提高，并获得了多项成就，有关记载也明显增加。《本草纲目》卷九“金石·石炭·集解”李时珍云：“石炭，南北诸山产处亦多，昔人不用，故识之者少，今则人以代薪，炊爨、煅炼铁石，大为民利。”这大体上反映了明代采煤业的基本情况。

（一）采煤技术的提高

明代文献关于煤炭的记载较多，其中尤其值得注意的是孙廷铨《颜山杂记》和宋应星《天工开物》，他们从多方面叙述了明代采煤技术的发展水平和对煤炭科学知识的提高。

1. 找矿方法

明末清初孙廷铨(1613～1674年)《颜山杂记》卷四“物产·石炭”条载：“凡煤之在山也，辨死活。死者，脉近土而上浮，其色蒙，其臭平，其火文，以柔其用，宜房闼围炉。活者脉夹石而行，其色晶，其臭辛，其火武，以刚其用，以锻金治陶。或谓之煤，或谓之炭；块者谓之硔，或谓之砟；散无力也，炼而坚之，谓之礁；顽于石，重于金铁。绿焰而辛酷，不可爇也（注：或指黄铁矿之不可燃）以为矾，谓之铜碛（黄铁矿结核）。故礁出于炭而烈于炭，碛弃于炭而宝于炭也。”这里谈到了煤矿的性质和地质条件，前一段文字说的是煤，后面几句还谈到了夹于煤层中的黄铁矿结核①。在此，孙廷铨较早地提到煤炭矿藏学和共生矿的一些问题。孙廷铨，山东益都人，明崇祯庚辰（1640年）进士，清荐授河南府推官，擢吏部主事，历官内秘书院大学士。康熙丙午（1666年），孙廷铨以大学士予告在籍，因蒐旧闻作为此书。书中保留了明末清初颜神镇许多手工业技术资料，其中最值得注意的是它的采煤技术和玻璃生产技术。玻璃生产之事待本章第十节再谈。益都有颜神镇[5]，益都西鄰即是淄博煤田。

接着，《颜山杂记》又简要地谈到了探寻煤矿的一些基本方法：“凡脉炭（注：寻找矿脉）者，视其山石。数石（注：似指页岩）则行，青石（注：石灰石）、砂石则否。察其土有黑苗，测其石之层数，避其沁水之潦（注：指涌水）。因上以知

① 明嘉靖《青州府志》卷七“物产”：“矾，出颜神镇，皆山石也。采而碎之，合石炭中黑石名曰铜渍，入镬煎炼乃成。”



下，因远(近)以知近(远)，往而获之为良工。”在此，孙廷铨谈到的找矿方法主要是两条，即一“视其山石”，二“察其土有黑苗”。《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条也有类似的说法：“凡取煤经历久者，从土面能辨有无之色。”《物理小识》卷七“五金·煤炭”条云，煤炭，“石墨一种而异类也……外记孛露，有土能然（燃），可作炭用”。也都谈到了“察土”的情况。此外，《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条还谈到过一种视植被的方法，说“南方秃无草木者，下即有煤。北方勿论”。但此说并无普遍性，有无草木并不能作为判定煤矿的标志；不管南方北方，草木之山也有产煤的。

2. 开采技术

我国古代采煤亦包括露天开采和地下开采两种，前者技术上较为简单，后者则往往较为复杂。

孙廷铨《颜山杂记》卷四“物产”载：“凡攻炭，必有井干（注：主井）焉，虽深数百尺而不挠。已得炭，然后旁行其隧。视其炭之行，高者倍人，薄者及身，又薄及肩，又薄及尻（注：脊骨尽处）。凿者跂，运者驰；凿者坐，运者偻；凿者蛸（注：蛴蛸，金龟子幼虫，以背滚行）卧，运者鳖行。视其井之干，欲其确尔而坚（注：准确而坚牢）也，否则削（注：加以修整）。入其隧，欲其燥以平也；否则研（注：平整）。井凡得炭而支行。其行隧也，如上山。左者登，右必降；左者降，右必登。降者下城（注：阶齿），登者上城。循山旁行，而不得平；一足高，一足下，谓之仄城（注：煤层起伏不平）。脉正行而或结，礓石阻其前，非曲凿旁达，不可以通，谓之盘锢（注：断层）。脉乍大乍细，窠窠螺螺，若或得之而骤竭，谓之鸡窝。二者皆井病也。凡行隧者，前其手，必灯而后，入井则夜也，灯则日也。冬气既藏，灯则炎长，夏气强阳，灯则闭光。是故凿井必两，行隧必双，令气交通，以达其阳。攻坚致远，功不可量，以为气井之谓也。”这段文字较长，其要点是：

（1）选择好井干（井筒）位置。井干务必坚牢，即引文所云“凡攻炭，必有井干焉，虽深数百尺而不挠”、“视其井之干，欲其确尔而坚也，否则削”。这是进行地下开采的首要事项。

（2）做好井巷开拓部署，保证井下通风和运输。引文“已得炭，然后旁行其隧”，“井凡得炭而支行”即指出了拓巷道的必要性。引文“凿井必两，行隧必双，令气交通，以达其阳；攻坚致远，功不可量”，即是说开拓两条主巷，是为了通风和运输；显然，这是十分科学的布置。另外，井巷必须具有较好的地质条件，含水量不宜过大，即前引文中所云“测其石之层数，避其沁水之潦”。主巷道须干燥平整，才便于通风和交通，即文中云“欲其燥以平也，否则研”。在巷道上还须设有阶齿，以防滑和便于行走。

《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条说：“一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。”李时珍《本草纲目》卷九“金石·石炭”条说：“土人皆凿山为穴，横入十余丈取之。”也都说到了开拓平巷。

（3）对开拓过程中的井病，可采取绕过去的办法。即引文所云“脉正行而或结……谓之盘锢。脉乍大乍细，窠窠螺螺，若或得之而骤竭，谓之鸡窝”。此井病皆可“曲凿旁达”。此“井病”，实际上也是人们对煤炭地层学的较早认识。

（4）做好井下照明和通风情况检查。引文所云“凡行隧者，前其手，必灯而后，入井则夜也，灯则日也”。即说照明。“冬气既藏”四句，则是说冬天空气流通一般较好，故灯火焰长；夏天闷热，空气流通较差，灯则闭光；这一方面说明了气温对通风情况的影响，另一方面人们也可通过灯焰状态来了解地下通风情况。

此外，明代还有一些较为重要的技术，《颜山杂记》不曾提及，而散见于其他著述中，它们都从不同角度反映了明代采煤技术的先进水平。如：

（1）井深。宋应星《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条载：“凡取煤经久者，从土面能辨有无之色，然后掘挖。深至五丈许，方始得煤。”此说井深为“五丈”。依嘉靖牙尺，1 尺 =0.32 米[6]，便是 16 米。崔铣（嘉靖）《彰德府志》卷八：“安阳县龙山出石炭，入穴取之无穷，取深数十百丈，必先见水，水尽然后炭可取也。”此说安阳龙山石炭“取深数十百丈”，若设其为五十丈，则合 160 米，若为竖直深度的话，此数字便是较大的了。

（2）井下支护。明代文献对此记载较少。《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条只说了一句“其上支板，以防压崩耳”。但具体操作不明。《颜山杂记》卷四“物产”条载：“烧琉璃者多目灾，掘山炭者遭压溺，造石矾者有喑疾。”这从一个侧面说明了煤矿井下支护之重要。此“喑”即哑。

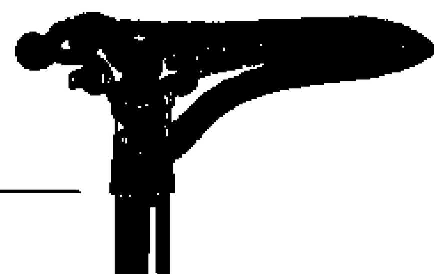
（3）回填。对采空区之回填，这是开采过程中的一项重要操作。《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条载：“凡煤炭取空而后，以土填实其井，经二三十年后，其下煤复生长，取之不尽。”此前两句话说的是回填，后三句话所说，则可能是地压造成的一种假象。煤炭是在地质年代中产生出来的，不可能凭空在二三十年内“复生长”。

（4）排除地下瓦斯法。宋应星《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条载，开掘“深至五丈许，方始得煤。初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上。人从其下施䦆拾取者”（图 8－1－1）。此“毒气”即所谓“瓦斯”，主要成分有甲烷、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢等。这是我国古代关于排除煤层瓦斯的最早记载，这也是一种安全、有效的方法。

（5）提升。从《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”所载“南方挖煤”图（图 8－1－1）可见，其中使用了辘轳。这是我国自商代之后，及至近现代的重要提升工具。它可用于提水、提土和提各种矿石。




图8－1－1 《天工开物》所载“南方挖煤”图



（二）煤炭科学知识的提高

1．依据煤的性态、用途和使用方法，对煤进行了较为系统和科学的分类。

宋应星《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条载：“煤有三种：有明煤、碎煤、末媒（煤）。明煤，大块如头许，燕齐秦晋生之，不用风箱鼓扇，以木炭少许引燃，熯炽达昼夜；其傍夹带碎屑，则用洁净黄土调水作饼而烧之。碎煤有两种，多生吴楚，炎高者曰饭炭，用以炊烹；炎平者曰铁炭，用以冶煅，入炉先用水沃湿，必用鼓鞴后红，以次增添而用。末炭如面者，名曰自来风；泥水调成饼，入于炉内；既灼之后，与明煤相同，经昼夜不灭；半供炊爨，半供熔铜、化石、升朱。至于燔石为灰与矾、硫，则三煤皆可用也。”“其炊爨功用所不及者，唯结腐一种而已（原注：结豆腐者用煤炉则焦苦）。”此分类标准是煤的物理性状，其中包括煤的硬度、挥发分、烧结性能、燃烧性能等，说明人们对煤的性状已有了一定认识。这是一种较为科学的分类法，前此是不曾有过的[7]。此“明煤”当是无烟煤，其硬度较大、密度较高。“碎煤”都是烟煤，硬度较低，易于破碎。“末煤”是硬度和挥发分都相当低的贫煤。“饭炭”是挥发分较高，胶质层较薄，不宜炼焦，只能用作炊事者[8]。“铁炭”即是可用做锻铁的煤炭。这种分类法应是明清时期使用较广的一种，清代文献亦有引用，雍正《陕西通志》卷四三“物产”条、嘉庆《汉南续修郡志》卷二二“物产”条等，皆曾引用《天工开物》“石炭有三种”的说法。

此外，还有其他一些分类法。如《本草纲目》卷九“金石·石炭·集解”条李时珍云，石炭“有大块如石而光明者，有疎散如炭末者，俱作硫黄气”。嘉靖《彰德府志》卷八“物产”：“（煤）炭有数品，其坚者谓之石，软者谓之烸，气愈臭者，燃之愈难尽。”

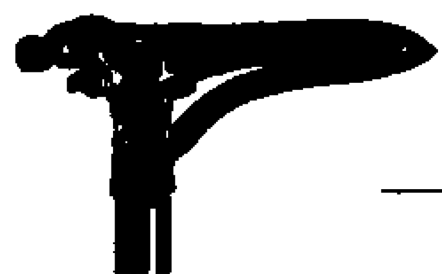
2．为满足生产和生活的需要，人们对不同品种的煤，总结出了多种不同的燃烧法，如：（1）沃水法。前引《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”条云：“炎平者曰铁炭，用以冶锻，入炉前先以水沃湿。”（2）做成煤饼。前引《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”：“末炭如面者……泥水调成饼，入于炉内。”

3．对煤的成因开始有了一些认识。明陈继儒《偃曝谈余》卷上载：“新安西王乔（桥）洞，其石皆上（土）所成，取而破之，木叶之形交错其间，文理具在，如雕刻者，不特一石为然，众石皆然。洞之上二木亦皆化石，而一木复产枝叶。”[9]其中的“石”很可能是一种低变质煤。清代之后，这种认识便有了进一步发展。

4．对石炭与石墨的关系有了进一步认识。六朝时期，“石炭”亦称之为“石墨”，郦道元《水经注》卷一〇“濁漳水”，冰井台“藏冰及石墨，石墨可书，又燃之难尽，亦谓之石炭”。明时，人们已将煤与石墨区分开来，并认为是同类二物，这是十分精辟、十分难得的见解。方以智《物理小识》卷七“金石”：“煤炭，石墨，一种而异类也。陆文裕、张孟奇以为一，然永乐抽分书煤与石炭为二项。”

**四、盐井开凿技术的发展**

我国古代井盐技术发明于先秦时期，当时采用的主要是大口浅井法，及唐，这种大口浅井技术发展到了鼎盛的阶段，北宋中期便创造了卓筒井。卓筒井是我





国古代盐井从大口浅井向小口深井过渡的标志，它不仅促进了四川井盐业的发展，而且创造了近代油、气井的雏形[10]。但早期卓筒井的凿井方法较为简单，固井措施不力，排除井下故障的能力较低；到了明代，钻井技术又取得了长足的进步，它的主要特点是钻具的多样化、固井技术的提高和井身结构的变化、打捞落物技术的提高。明马骥曾著《盐井图说》，较为完整地记述了它的基本操作。马骥为四川射洪县人士，万历（1573～1620年）初曾任射洪县令[11]。《盐井图说》今已失传，其主要部分已为明曹学佺《蜀中广记》卷六六“方物记·盐谱·井法”，及明顾炎武《天下郡国利病书·四川》收录，文字基本一致。其开场白云：“盐井其来旧矣。先世尝为皮袋井，围径三五尺许，底有大塘，利饶课重，工力浩钜，非一载弗克竣。今皆湮没殆尽不可考。民循故业以纳课，率多从竹井制，其施为次第，在井匠董之。”[12]紧接着，马骥对井盐开拓的主要工艺环节一一作了说明。现分出标题，引述如下。

（一）凿井技术之发展和规范化

1. 选择好井位，这是凿井的首要事项。“凡匠氏相井地，多于两河夹岸，山形险急，得沙势处”[12]。

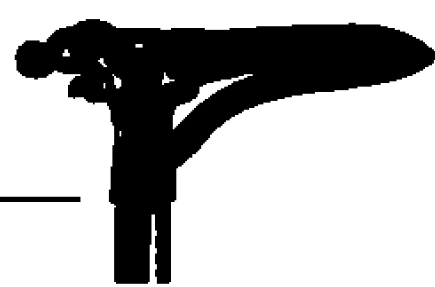
2. 开井口，立石圈。井口开成后，便以之为中心立石圈，目的是加固表层井壁，以便盐井钻进。“鸠工立石圈，尽去面上浮土，不计丈尺，以见坚石为度，而凿大小窍焉。大窍，大铁钎主之；小窍，小铁钎主之。钎一也，大钎则有钎头扁竟七寸，有轮锋，利穿凿。”[12]在此，尤其需要指出的是钻具的改进，它是井深提高的一个关键。此钻头由“扁竟”和“轮锋”（即扁头和刀锋）两部分组成，较宋代圜刃又有了进一步发展。此“大钎”和“小钎”便是适应于大窍和小窍而发明出来的。清代之后，此钻具品种又有了增加。

3. 立井架，凿大窍。这是钻凿井圈以下，至“红岩”的一段井腔。“兴井日，北(井?)口傍树两木，横一木于上，有小木滚子，以火掌绳钎末附于横木滚子上，离井六七步为一木椿，纠火掌篾而耦舂之，滚竹运钎，自上下相乘矣。匠氏掌纤篾，坐井口傍，週遭圜转，令其窍圆直。初则灌水凿之，及二三丈许，泉蒙四出，不用客水，无论上（土）石，钎触处俱为泥水。”[12]凿井时灌水或利用地下水的目的，主要是为了扇泥，将使水、石、泥混合物取出；同时还具有冷却和润滑钻头的作用。

4. 扇泥，清孔。在凿井过程中，要不断地扇泥、清孔。“每凿一二尺，匠氏命起钎。用筒竹一根，约丈余，通节，以绳系其梢，筒末为皮钱，掩其底，至泥水所在，匠氏揉绳伸缩，皮歙水入，挹满搅出，泥水渐尽，复下钎凿矣。次第疏凿，不计功程力，大较至二三十丈许，见红石岩口，大窍告成矣。”[12]此扇泥贯穿凿井过程的始终。

5. 下木竹套管。早期卓筒井之套管全用竹筒，明代始出现木质套管。“随议下竹。竹有木竹、樺竹二种。木竹，取坚也。刳木二片，以麻合其缝，以油灰衅其隙。樺出马湖山中，亦以麻裹之。木竹末为大麻头，累累节合。下尽全竹，四溃淡水障阻，不能浸淫。”[12]可见下此木竹套管的主要目的是封隔淡水，使之不能浸淫。

6. 凿小窍。这是钻凿竹木井筒以下，直至深井卤层为止的一段岩层，这应是



盐井的主体部分。“廼截去大钎头，用钎梢凿小窍，法如大窍然。凿至二十丈，中见白沙数丈，有咸水数担，名曰腰脉水，去咸水不远。寻凿之，而咸水渊涓自见也。水有广水，昼夜力汲不竭，然味近淡；有咸水，昼夜计有数，然味亦不齐。有一担而煮盐五六斤者，有八九斤至十二三斤者，顾遇何如耳。”[12]小窍成，盐井即算凿成。

可见，明代井盐开采已形成了一套程序化、规范化的工艺，其中最值得注意的是两方面：(1) 钻具的改进，即大小钎头的发明。(2) 固井技术的提高和井身结构的改进。立石圈、下竹木套管，显然可分别增强井口和井身的牢固性。在此，选用强度大、硬度高、耐腐蚀的竹木便具有了十分重要的意义。据明代郭子章《〈盐井图说〉序》云，明代盐井“浅者五六十丈……深者百丈”[13]。依故宫博物院所藏嘉靖牙尺[6]，折合今制则为160～320米。若无先进的工具和较好的固井措施，是很难钻出此种深井的。

（二）汲卤

7. 建井架，汲卤。“厥工既就，始树楼架，高可似敌楼。上为天滚，有辘轳声。制筒索吸水，如前吸泥水法，而枢轴则管于车床也。床横木为槊，槊有两耳，作曲池状，左右低昂逆施；左揖地右伸，右揖地左伸。循环用力，索尽筒出。咸水就灰笆泼水，而煎烧有绪矣。转辘轳者，盖三人为之。力厚者则制牛车，车状大，力逸而功倍也。此自成井而论耳。”[12]此简要地谈到了建井架和汲卤的基本过程。建架的目的自然是为了便于提升。这里还使用了辘轳之类机械。

（三）治井技术的重大成就

开凿盐井，不但需要先进的钻井工具和固井技术，而且还要善于处理深井开凿过程中的各项技术事故，其中最值得注意的是打捞落物和淘井。

8. 打捞落物。“若掘凿之际，钎偶中折而堕其中者，或遭淤泥作阻者，其出法亦巧，而为器亦异。钎带火掌篾而堕者，以搅镰钩出，为力易易。惟钎半堕，或止堕钎头者，取之之法，制为铁五爪，如覆手状，爪背入木数寸，以竹三尺许，劈碎一尺，缠扼爪木令坚致；上一尺亦劈碎，则活系撞子钎，不令拘泥偏向，中一尺通其节，以待撞子钎假道挺伐，垂爪入井，爪定所堕钎头，匠氏从上督索，撞子钎由筒中击木，木击五爪，数击则爪攫劖钎头者牢，不可以游滑自匿，虽欲不出，不可得矣。”[12]在此，尤其值得注意的是撞子钎和铁五爪，它能准确地抓住落于井中之物，有如机械手一般，这显然是明代井匠的一项杰出创造。这与我国历代自动机械的使用显然是紧密相关的。

9. 淘井。这是明代治井技术的另一项重要内容。“若被游泥填溢大小窍，犹关格症然。甚者制为搜子，以和解其胶密。搜子者，铁条之有啮齿者也。未甚者制为漕钎，以冲击其脂凝。漕钎者，撞子钎之有啮齿者也，支解既析，则为刮筒以取其泥。刮筒之制与盐筒殊科，不通其节，而每节之始凿为方口，投井中吸泥，亦如汲水式。盖水可以疏通翕受，泥则踰节不可。是匠氏作法意也。”[12]可见淘井的主要工具是搜子、漕钎、刮筒。搜子是有啮齿的铁条，近代仍在川北沿用。漕钎是由撞子钎衍化而成的，是有啮齿的撞子钎。刮筒不同于扇泥筒，不通节，亦无皮钱。

明代较好的钻井工具和固井技术，行之有效的打捞落物技术，都为清代盐井技术的进一步发展打下了良好的基础。

明末宋应星《天工开物》卷五“作咸·井盐”条也曾对井盐开采作过较好的描述：“凡滇蜀两省，远离海滨，舟车艰通，形势高上，其咸脉即韫藏地中。凡蜀中石山去河不远者，多可造井取盐。盐井周围不过数寸，其上口一小盂覆之有余，深必十丈以外，乃得卤信。故造井功费甚难，其器冶铁锥，如碓嘴(嘴）形，其尖使极刚利，向石山舂凿成孔。其身破竹缠绳，夹悬此锥。每舂深入数尺，则又以竹接其身，使引而长。初入丈许，或以足踏碓稍(梢)，如舂米形。太深则用手捧持顿下，所舂石成碎粉，随以长竹接引。悬铁盏挖之而上。大抵深者半载，浅者月余，乃得一井成就。盖井中空阔，则卤气游散，不克结盐故也。井及泉后，择美竹长丈者，凿净其中节，留底不去。其喉下安消息，吸水入筒，用长縆系竹沉下，其中水满，井上悬桔槔、辘卢（轳）诸具。制盘架牛，牛拽盘转，辘轳绞縆，汲水而上，入于釜中煎炼（原注：只用中釜，不用牢盆)，顷刻结盐，色成至白。”这里谈到了盐井开凿的整个过程，基本过程与马骥所云是一致的，但也有一些特殊处，尤其是对“足踏碓梢，如舂米形”的凿井法描写得甚为详明，且附有插图（图8-1-2），这是马骥《盐井图说》所不及的。这在盐井史、机械史上都是具有重要意义的。但宋应星说凿井具“其尖使极刚利”是不太确切的，大约这是明人的习惯说法，其实应是“扁尖”；只说“尖”时，一般人易理解为圆尖，圆尖钻是不宜凿井的。前面谈到，宋代卓筒井以“圜刃”钻具开凿；明《盐井图说》则说大钻头呈扁形，“扁竟七寸，有轮锋”；下面将要谈到，清代又有鱼尾锉、银锭锉、双马蹄锉、单马蹄锉等数种[14]。

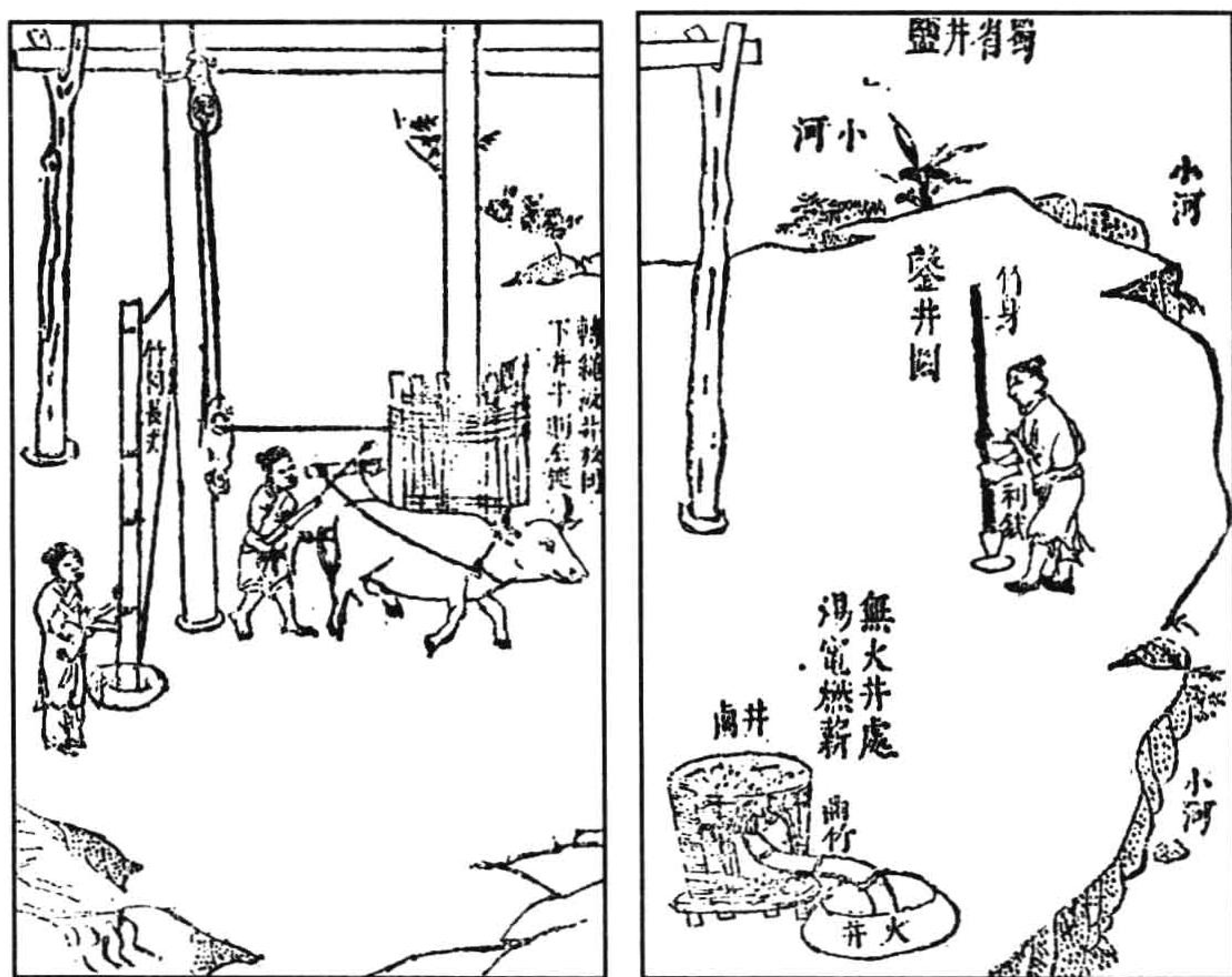
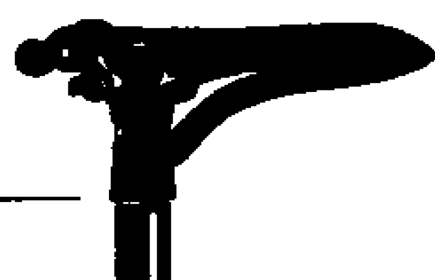



图8-1-2 《天工开物》所载“蜀省井盐”图

明代的多项采盐技术都达到了集大成的阶段，除井盐外，海盐、池盐等的开采都有了较为详细的记载，这在宋应星《天工开物》等文献中都可看到，今不再




叙述。

**五、天然气的利用和石油开采技术**

明代文献关于天然气的记载较多，有的侧重于对现象的描写，有的只谈一般性利用，其中较值得注意的是宋应星《天工开物》，其卷五“作咸·井盐”条在述说了井盐开采后，对四川天然气煮盐技术作了较好的说明。其云：“西川有火井，事奇甚，其井居然冷水，绝无火气。但以长竹剖开去节，合缝漆布，一头插入井底，其上曲接，以口紧对釜脐，注卤水釜中，只见火意烘烘，水即滚沸，启竹而视之，绝无半点焦炎意。未见火形而用火神，此世间大奇事也。”这里述说了天然气煮盐的基本情况。可知此天然气是直接采取的，用竹管将之引入灶内燃烧，一口井供一口锅，看来这应是气流量较小的浅层井。较《天工开物》稍早的明张瀚《松窗梦语》卷二“西游记”谈到过一种气流量较大的火井：“有火井，土人用竹筒引火气煎盐，一井可供十余锅，筒不焦，而所通盐水辍沸。”看来此井的气流量应当较大，且已在输气管上安装了分气管。这种分气管的安装，也算是天然气利用技术上的一项成就。但总的来看，明代天然气的开采和利用，其技术水平还是较低的。

明代的石油开采技术又有了进一步发展，四川用“小口井”法开凿了油井，人们对石油的认识也更为系统。

明曹学佺《蜀中广记》卷六六“火井与油井”引“通志”云：“国朝正德末年，嘉州（今四川乐山地区）开盐井偶得油水，可以照夜，其光加倍，沃之以水，则焰弥甚，扑之以灰则灭，作雄硫气，土人呼为雄黄油，亦曰硫黄油。近复开出数井，官司主之，此是石油，但出于井尔。”[15]这也是我国今日所知人工开凿的较早油井。因这是在开凿井盐过程中无意凿出的，故其开凿工艺当与盐井工艺相似。若说元代陕西油井是否使用了“小口井”工艺尚难判断的话，此明代四川油井便肯定是“小口井”工艺了。

明杨慎《升庵外集》卷四“地理·火山火井”条也曾提及采油之事：“火井在蜀之临邛，今嘉定、犍为有之，其泉皆油，爇之然，人取为灯烛，正德中方出。古人博物，亦未及此也。积阳之气所产，固非怪异。”[16]

看来，明代开采井盐时，采得石油之事未必只有一次。明郑仲夔《隽区》卷五载：“蜀嘉定州井通溪，其地产盐……或有穿得油井者，其水黑色，有气若臭，用以点灯，光亮无比。凡油畏风雨，惟此油当风雨更明。”

明杨慎《升庵外集》卷四“石漆”条又载：“延州高奴县有石脂水，水腻，浮水面如漆，投以膏车及炷灯，谓之石漆。宋时用以烧烟造墨，谓之延州石液，刻于墨上。与近日蜀中火井汲出硫黄油，皆异产也。”[16]这里提到了石油的多种用途。

明朱国祯《涌幢小品》卷一五载：“延安府延长县，石油出自泉中。岁秋，民勺之，可以燃灯，亦可治毒疮。浸不灰木，以火爇之，有焰，灭之则木不坏。”[17]这里也提到了“石油出自泉中”和“民勺之”。这是一种自然流出和露天采取的工艺。

李时珍《本草纲目》卷九“金石·石脑油”所述更为详明：“石油所出不一，出陕之肃州、鄜州、延州、延长，及云南、之缅甸、广之南雄者；自石岩流出，

与泉水相杂，汪汪而出，肥如肉汁。土人以草挹入缶中，黑色颇似淯漆，作雄硫气；土人多以然(燃)灯，甚明；得水愈炽，不可入食，其烟甚浓。”“石油气味与雄硫同，故杀虫治疮。其性走窜，诸器皆渗，惟瓷器琉璃不漏。”李时珍引述了沈存中《梦溪笔谈》、段成式《酉阳杂俎》、康誉之《昨梦录》等关于石油的记载，对石油的产地、性状和用途作了全面的描述。当然，整个古代社会，人们对石油的认识水平依然是较低的；石油的用途，也主要是照明、膏车、作墨、作淬火剂、军事上用作火攻，以及作药以治皮肤病等。石油淬火之事见于前引元人伪撰《格物麤谈》卷下，《本草纲目》卷九也有类似的说法。

## 第二节　金属技术的重大成就

明代冶金技术一方面继承了先世的优秀技术传统，另一方面也有了不少创新。炼铁方面，构筑了较为高大的炉子，使用了萤石作稀释剂；炼焦技术和活塞式风箱都有了明确记载。炼钢方面，使用了串联式炒炼炉，灌钢技术有了提高，相当于箱式渗碳法的焖钢工艺始见于记载。有色金属冶炼方面，发明了炼锌技术，火法炼铜和炼铅技术都有了较为详明的记载，镍白铜技术有了提高，黄金采冶技术有了发展。铸造方面，出蜡法铸造、钟鼎类特大器件的铸造，都有了较大发展。金属加工方面，热锻、冷锻、化学热处理技术都有了长足进步，并创造了一种名叫生铁淋口的液态渗碳工艺；拉拔工艺开始有了较为详细的记载；制作了名叫宣德炉的祭祀用品，其铸造技术、合金技术，尤其是表面处理技术，都达到了一个较高的水平。

### 一、炼铁技术的新发展

此期炼铁技术的发展主要表现在如下三个方面：

（一）筑炉技术的提高和冶炼技术的发展

我国古代生铁技术虽然发明较早，但在筑炉和冶炼技术方面稍见详细的记载，是到了明代才在宋应星《天工开物》、朱国祯《涌幢小品》等书中看到。

宋应星（1587～1667年前后）《天工开物》卷一四“五金·铁”条载：“凡铁炉，用盐做造，和泥砌成。其炉多傍山穴为之，或用巨木匡围。塑造盐泥，穷月之力，不容造次。盐泥有罅，尽弃全功。凡铁一炉载土二千余斤，或用硬木柴，或用煤炭，或用木炭，南北各从利便。扇炉风箱必用四人、六人带拽。土化成铁之后，从炉腰孔流出。炉孔先用泥塞。每旦昼六时，一时出铁一陀。既出，即叉泥塞，鼓风再熔。”这里谈到了炉子构筑方法、冶铁燃料，以及鼓风、出铁等冶炼过程，甚为全面。

明朱国祯《涌幢小品》卷四载：“遵化铁炉，深一丈二尺，广前二尺五寸，后二尺七寸，左右各一尺六寸，前辟数丈为出铁之所，俱石砌，以简干石为门，牛头石为心，黑沙为本，石子为佐。时时旋下，用炭火置二鞴扇之，得铁日可四次。妙在石子产于水门口，色间红白，略似桃花，大者如斗，小者如拳，捣而碎之，以投于火，则化而为水。石心若燥，沙不能下，以此救之，则其沙始销成铁……其炉由微而盛而衰，最多至九十日则败矣。”[1]这里谈到了炉子的尺寸、筑炉方法、炉况处理




等冶炼过程。孙承泽（1592～1676年）《春明梦余录》卷四六、《天府广记》卷二一等也有类似的记载。遵化铁厂始建于永乐年间，是明代的重要铁厂。

可见明代炼铁技术的基本情况是：（1）炉子可用盐泥、石块和土泥构筑。为坚牢故，多傍山穴，或用巨木匡围。此匡围加固法，已往是不曾见于记载的。（2）炼铁炉外形未必都是圆的，遵化炼铁炉的横断面近于梯形。明一尺约相当于今0.32米[2]，故遵化炉深（高）为3.84米。（3）燃料有硬木柴、煤炭、木炭。木炭是主要的。此“煤炭”到底是直接使用还是炼焦后再用，未能详知。（4）使用了萤石，即“色间红白，略似桃花”的石子作为稀释剂。在炉况严重不顺时，用来防止悬料和崩料。这是我国古代冶铁高炉使用稀释剂的最早记载。

直至20世纪，河北省武安县矿山村附近依然保存一座较为完整的炼铁炉，据调查，炉“高八公尺，宽三公尺，中空如瓶，宽二公尺。附近有一铁块，半没于土，露出者三尺余”[3]。可见其较为高大，中空如瓶，具有一定的炉身角和炉腹角。

（二）鼓风技术的发展

我国古代冶铸用鼓风器的发展大约经历了三个阶段：

1. 橐。即一种皮囊，橐的具体形态正如宏道院汉画像石所示。发明年代不详，甲骨文中便有了“橐”字，汉、晋时期一直沿用此名。《老子·道德经》第五章晋王弼注：“橐，排橐也。”运橐以送风便谓之“鼓橐”、“鼓橐吹埵”。

2. 活瓣式风扇。很可能西晋便已出现，较为明确的图示资料始见于宋。送风便谓之“扇”。隋苏玄明《宝藏论》等中都提到过“韛”字[4]，至少有一部分包括在风扇的范围。

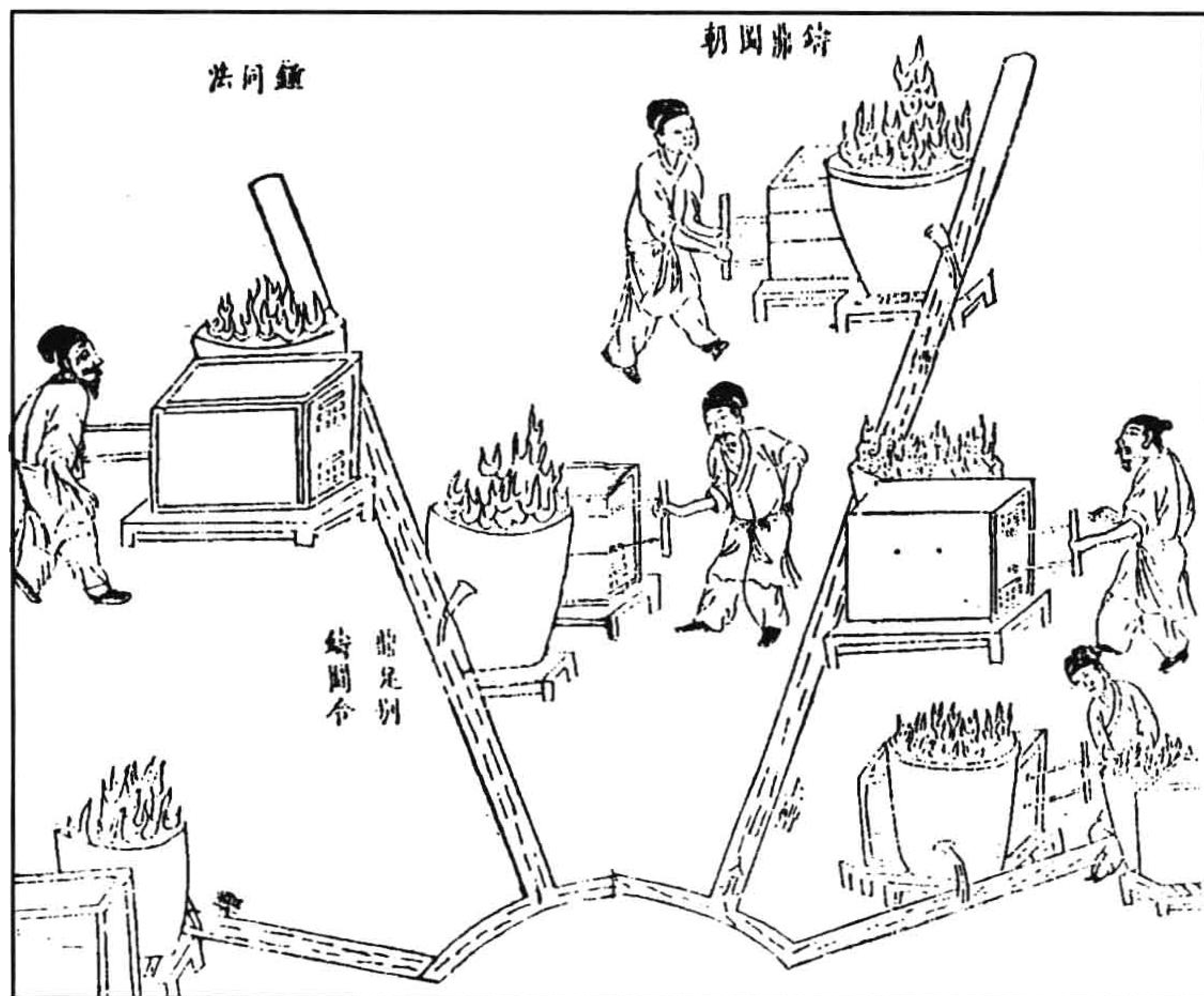


**图8－2－1　《天工开物》所载“铸鼎图”及其活塞式风箱**

图中文字，上端：“铸鼎图朝”、“钟同法”。左中：“鼎足别铸閗（斗）合”；左下：“槽”；右中：“土槽”；右下：“土槽”、“人孔”。

3. 活塞式风箱（图 8 -2 -1）。很可能宋代蜀中便已使用，但较为明确的图片资料始见于明《天工开物》，此书多处都载有风箱的示图。其卷一四“五金·银”条并云：“风箱安置墙背，合两三人力，带拽透管送风。”其工作原理与今民间所用风箱应基本一致。风箱的出现是鼓风技术的一项重要成果。在欧洲，活塞式鼓风器约出现于 18 世纪后期。

虽然鼓风器先后使用了多种名称，但迄今我们了解到的，只有橐、扇、风箱这 3 种结构形态。风箱在 21 世纪初民间仍有使用，风扇近代在四川依然保留着（见后）。

（三）炼焦技术的发展

我国古代炼焦技术约发明于宋、金时期，但有关记载却是明代才看到的。

方以智（1611 ~1671 年）《物理小识》卷七载：“煤则各处产之，臭者烧熔而闭之成石，再凿而入炉曰礁，可五日不绝火，煎卝(借为‘矿’)煮石，殊为省力。”此“礁”即焦炭，这里还简要地谈到了焦炭的烧造工艺。此“煎矿煮石”含义不明，可能包括坩埚冶炼、高炉冶炼，以及锻户之锻炼。这是我国古代文献中较早提到焦炭炼铁的地方。但不管怎样，在明代，焦炭的使用量还是不多的。

前引明末清初孙廷铨（1613 ~1674 年）《颜山杂记》卷四“物产”条在谈到煤炭时也谈到过炼焦：“或谓之煤，或谓之炭，块者谓之硔，或谓之砟，散无力也。炼而坚之，谓之礁，顽于石，重于金铁……故礁出于炭而烈于炭。”从清康熙《颜神镇志·物产》条的记载来看，其焦炭使用到了“诸冶”中。这一点，后面还要谈到。

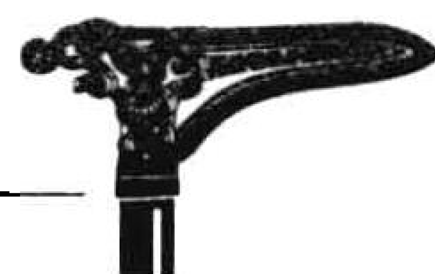
**二、炼钢技术的新成就**

明代使用较多的制钢工艺主要是炒钢法、灌钢法、渗碳制钢法和百炼钢法四种，其中前二者是基本的，前三者都取得了不少的新成就。

（一）串联式炒炼法的出现

宋应星《天工开物》卷一四“五金·铁”条载：“若造熟铁，则生铁流出时，相连数尺内，低下数寸，筑一方塘，短墙抵之。其铁流入塘内，数人执持柳木棍排立墙上；先以污潮泥晒干，舂筛细罗如面，一人疾手撒挹，众人柳棍疾搅，即时炒成熟铁，其柳棍每炒一次，烧折二三寸，再用则又更之。炒过稍冷之时，或有就塘内斩划成方块者，或有提出挥推（椎）打圆后货者。若浏阳诸冶，不知出此也。”（图 8 -2 -2）此“熟铁”即炒炼产品，含碳量约相当于现代意义的可锻铁[5][6]。晒干了的污潮泥大约是一种造渣熔剂。数人执柳木棍急搅，目的是帮助氧化脱碳。这里叙述了串联式炒炼法的全过程。其优点是：（1）省去了生铁重新加热的工序，提高了生产率。（2）金属无需再加热，避免了燃料中的硫分进入金属的可能性，故这是一项很不错的工艺。这也是我国古代文献中，关于炒钢操作较早，且较为详明的记载。但现代研究者对此串联式炒炼法也有一些疑问，即由高炉中流入方塘的生铁数量较少，冷却较快，在无外加热的条件下，是否能即时炒成“熟铁”？其“污潮泥”是否具有较强的造渣能力？都有待试验来证实。

此时人们对铁、“熟”铁的关系也有了进一步的认识。宋应星《天工开物》卷一四“五金·铁”条载：“凡铁分生、熟，出炉未炒则生，既炒则熟。”即是说，炼铁炉冶炼出来，未经炒炼的是生铁，炒炼过的便是“熟铁”。南朝梁陶弘景、唐



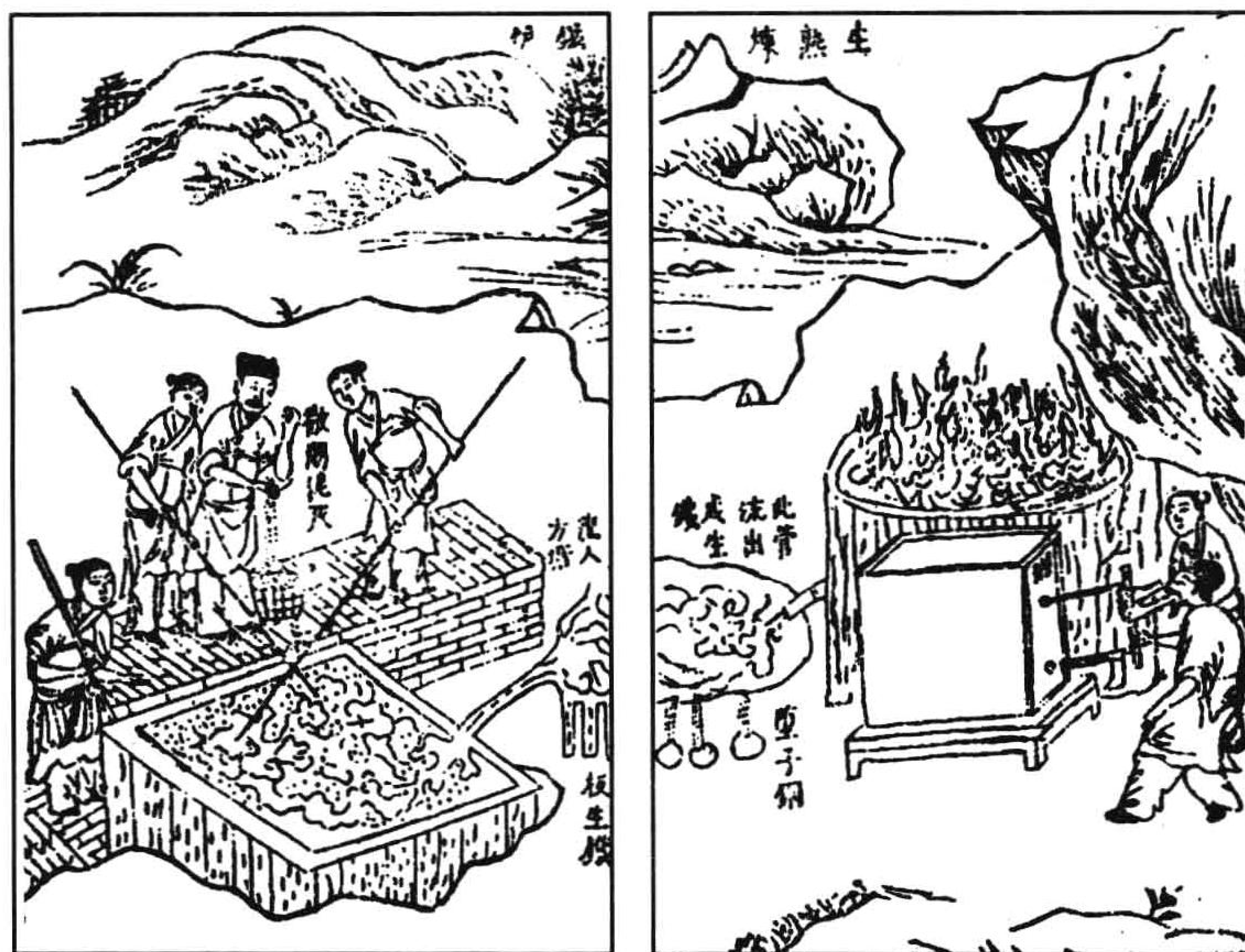


图 8－2－2　《天工开物》所载"生熟炼铁炉"图

苏敬、宋苏颂等都曾对生、"熟"铁作过区分，尤以宋应星说得简洁、明了。

（二）灌钢技术的发展[6][7]

这主要表现在：有关记载明显增加、出现了多种不同的灌炼操作、人们对灌钢工艺原理有了进一步认识等方面。

明唐顺之《武编》"前集"卷五"铁"条载："熟钢无出处，以生铁合熟铁炼成；或以熟铁片夹广铁锅，涂泥入火而团之；或以生铁与熟铁并铸，待其极熟，生铁欲流，则以生铁于熟铁上，擦而入之。此钢合二铁，两经铸炼之手，复合为一，少沙土粪滓，故凡工炼之为易也。"此"熟钢"即灌钢；"无出处"即无特别的产地，许多地方都有生产。宋人曾把灌钢贬称作"伪钢"，明代已泛称之为"熟钢"，这是认识上的一个重要进步。此"铁锅"当即"锅铁"，即生铁。这里谈到了两种灌炼操作，一与沈括所云相类似，将生铁陷于"熟铁"之间，可谓之"生铁陷入法"；二可称之为"生铁灌淋法"，即将生铁与"熟铁"一起加热，待生铁开始熔化时，再将"生铁于熟铁上，擦而入之"。此当即清代苏钢法的雏形或前身。可见，灌炼法的主要优点是去渣能力较强："少沙土粪滓，故凡工炼之为易"。灌钢工艺主要就是通过操作去除夹渣，而不是调剂含碳量来提高材料质量的。这是我国古代文献中，最早提到灌钢去渣能力的地方。这说明人们对灌钢工艺原理的认识已达较高水平。

宋应星《天工开物》卷一四"五金·铁"条谈到了另外一种操作："凡钢铁炼法，用熟铁打成薄片，如指头阔，长寸半许，以铁片束包尖（夹）紧，生铁安置其土（上）（原注：广南生铁名堕子生钢者妙甚）；又用破草履盖其上（原注：粘带泥土者，故不速化），泥涂其底下。洪炉鼓鞴，火力到时，生钢先化，渗淋熟铁之中，两情投合。取出加锤，再炼再锤，不一而足。俗名团钢，亦曰灌钢者是也。"此"堕子钢"，依宋应星所云即广南生铁。与《梦溪笔谈》所述的工艺相比

较，其操作特点是：（1）生铁安置"熟铁"之上，熔化后向下渗淋，便增加了生、"熟"铁接触的机会。此法可谓之"生铁覆盖法"。（2）无需封泥相炼，只需上盖破草鞋，下涂泥就行了。（3）熟铁呈薄片状，如指头阔，长寸半许，从而增加了反应面，提高了生产率。

宋代以前的灌钢操作今已很难了解，宋、明时期主要约有上述3种，即"生铁陷入法"、"生铁灌淋法"、"生铁履盖法"。由前可知，汉王粲《刀铭》、晋张协《七命》都曾提到过"灌"炼；宋《岭外代答》说到过梧铁"淋铜（钢）"，所以，我们并不能排除汉、晋和宋代使用过"生铁灌淋法"的可能性，并且还有可能，在相当长一个时期内，3种或多种方法是长期并存的。

在明人的心目中，灌钢再也不是伪钢，而是一种"熟钢"，一种重要的制钢工艺。李时珍（1518～1593年）《本草纲目》卷八"金石·钢铁"条云："钢铁有三种：有生铁夹熟铁炼成者，有精铁百炼出钢者，有西南海山中生成，状如紫石英者。"此前者即灌钢，次者即百炼钢，后者当是金刚石之误。

（三）百炼钢技术的发展[8]

因操作艰难，宋、明时期百炼钢工艺已很少使用，但人们对它依然是相当重视的。

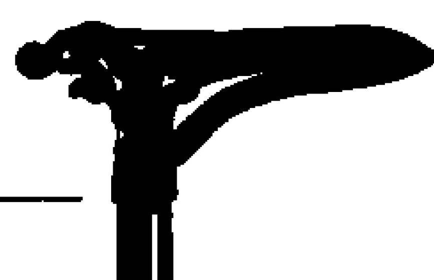
百炼钢工艺的主要技术目的也是排除夹杂。质量要求较高时，锻打次数就多些，否则就少些。前引明唐顺之《武编》"前集"卷五"铁"条，便谈到了高碳和低碳两种炒炼产品再度加工的情况。经过反复锻打，"则渣滓泻而净铁合，初炼色白而声浊，久炼则色青而声清"。明代对"百炼"还有一个新的认识，即如唐顺之所云，不管是福建铁，还是处州之铁，皆"百炼百折，虽千斤亦不能存分两也"。这种认识与现代技术原理是相符的，不断地加热锻打，氧化铁皮不断地生成并脱落，其重量便要不断地减轻，最后"分两无存"。这与沈括所说"斤两不减"是不同的。

自古以来，百炼钢主要用来制作宝刀、宝剑等贵重兵器刃器，明代依然如此。明宋应星《天工开物》卷一〇"锤锻·斤斧"条在谈到刀剑包钢工艺时说："刀剑绝美者，以百炼钢包果（裹）其外，其中仍用无钢铁为骨。"这是说用百炼钢制作刀剑的表层，以期不折、锋利、耐磨、耐蚀。明包汝楫《南中纪闻》说倭人和黔蜀皆有一种"数十锻"钢刀："倭奴制刀，必经数十锻，故铦锐无比。其国中，人炼一刀自佩，起卧不离。即黔、蜀诸土夷亦然。土夷试刀，尝于路旁伺水牛经过，一挥，牛首辄落，其牛尚行十步许才仆，盖锋利之极。"显然，这钢刀是由"数十炼钢"制成的。

（四）渗碳钢技术的发展

我国古代的渗碳钢技术约发明于先秦时期，但文献上关于渗碳制钢的记载却是到了明代才看到的。

宋应星《天工开物》卷一〇"锤锻·针"条在谈到针的加工时说，先用拉拔方式制成针坯，"然后入釜，慢火炒熬。炒后以土末入松木火天（矢）、豆豉，三物罨盖，下用火蒸。留针二三口插于其外，以试火候。其外针入手捻成粉碎，则其下针火候皆足，然后开封。入水健之。凡引线成衣与刺绣者，其质皆刚；惟马尾刺工为冠者，则用柳条软针。分别之妙，在于水火健法云"。这里记述了钢针渗碳的整个过程。此釜相当于渗碳箱，兼有加热和渗碳两种功能。我国古代的早期



渗碳工艺，很可能是在煅炉的炽热碳层中进行的，之后才使用了一种专门的渗碳设备，其发明年代今已难考。“慢火炒熬”，主要是为了消除针坯拉拔过程中产生的内应力。“土末”，填充剂；“松木火矢、豆豉”，渗碳剂。此“火矢”不是一般木炭。此试火候的外针能够捻碎，是完全氧化了的缘故。马尾，地名，在今福州市东南。针之刚柔“分别之妙，在于水火健法云”，说明了热处理技术对钢针质量的影响。可见，这制针法有较好的渗碳设备、渗碳剂、催渗剂和控制火候的方法，已是一套相当成熟的工艺。

**三、炼铜技术的发展**

明代冶铜技术有了较大发展，其一方面继承了先世的优秀技术成果，另一方面也有了不少提高，操作上更为成熟，产量明显增加，记载也更为详明。明代炼铜仍以火法为主，陆容《菽园杂记》、宋应星《天工开物》等都有记载。

明陆容（1436～1494年）《菽园杂记》（1495年）卷一四引《龙泉县志》，在谈到处州冶铜法时说，铜矿采来后，“用柴炭装叠，烧两次，共六日六夜，烈火亘天，夜则山谷如昼。铜在矿中，既经烈火，皆成茱萸头，出于矿面。火愈炽，则熔液成驼(坨)。候冷，以铁锤击碎，入大旋风炉，连烹三日三夜，方见成铜，名曰‘生烹’。有生烹亏铜者，必碓磨为末，淘去麓浊，留精英，团成大块，再用前项烈火，名曰‘烧窖’。次将〔击〕碎连烧五火，计七日七夜，又依前动大旋风炉，连烹一昼夜，是谓成鿒(音潮)。鿒者，粗浊既出，渐见铜体矣。次将鿒碎用柴炭连烧八日八夜，依前再入大旋风炉，连烹两日两夜，方见生铜。次将生铜击碎，依前入旋风炉焊炼，如焊银之法，以铅为母，除滓浮于面外，净铜入炉底如水。即于炉前逼近炉口铺细砂，以木印雕字，作‘处州某处铜’，印于砂上，旋以砂壅，印刺铜汗入砂匣，即是铜砖，上各有印文。每岁解发赴梓亭寨前。再以铜入炉，焊炼成水，不留纤毫滓杂，以泥裹铁勺，酌铜入铜铸模匣中，每片各有蜂窠，如京销面，是谓十分净铜，发纳饶州永平监应副铸……铜矿色样甚多，焊炼火次亦各有异，有以矿石径烧成者，有以矿石碓磨为末如银矿烧窖者，得铜之艰视银盍数倍云。”陆容，太仓人，成化丙戌（1466年）进士。这段文献较长，主要谈到了铜矿冶炼的基本过程：（1）焙烧。即“用柴炭装叠”以下一段，计六天六夜。目的是去硫和破碎矿石。（2）入大旋风炉连炼三日三夜。即“候冷”以下数句。此过程叫“生烹”，约与今造锍熔炼相当。（3）粉碎，洗选，再用前项烈火烧炼，即自“有生烹亏铜者”以下数句。此过程叫“烧窖”。（4）冶炼生铜。即由“次将（烧窖）击碎连烧五火”，到“方见生铜”。须多次击碎，反复烹炼，总计17昼夜。此反复煅炼的一个重要目的是去硫。（5）如炼银之法，以铅为提纯，制取粗铜，并浇铸成铜砖。即从“次将生铜击碎”以下数句。（6）再将铜砖入炉精炼，“是谓十分净铜”。前后须20多个昼夜，与前云宋代冶铜需“排烧窖次二十余日”大体一致；可见古代炼铜是十分艰难的。现代火法炼铜大体上可分为四步：（1）焙烧，主要为去硫。（2）造锍熔炼，其产品是冶炼过程的中间产物，即是冰铜，主要是$Cu_2S$与FeS的一种熔融体，并含有许多贵金属。（3）炼制粗铜。（4）炼制精铜。

明末宋应星《天工开物》卷一四“五金·铜”条所载冶铜过程较为简单：“凡铜质有数种，有全体皆铜，不夹铅、银者，洪炉单炼而成。有与铅同体者，其煎

炼炉法，傍通高低二孔，铅质先化从上孔流出，铜质后化从下孔流出。东夷铜又有托体银矿内者，入炉炼时，银结于面，铜沉于下；商船漂入中国，名曰日本铜，其形为长方板条，漳郡人得之，有以炉再炼取出零银，然后写（泻）成薄饼，如川铜一样货卖者。”这里简要地说到了含银与不含银的两种铜矿，及其不同的冶炼工艺。开“高低二孔”之说，《物理小识》卷七“金石类·铜矿”条也曾提及。

明代胆铜业也有一定发展。《明史·食货志》云，明初曾在德兴、铅山置铜场。《明史·地理志》云，德兴县北有铜山，“山麓有胆泉，浸铁可以成铜”。又说铅山县西南“有铜宝山，涌泉浸铁，可以为铜”。明末清初顾禹祖（1631～1692年）《读史方舆纪要》卷八十五“铅山县·锁山门”条曾详述过铅山胆水浸铜之业，云：“昔时胆水出此，其水或涌自平地，或出自石罅……宋时为浸铜之所，有沟槽七十七处，兴于绍圣四年，更创于淳熙八年，至淳祐后渐废，其池有三：胆水、矾水、黄矾水，每积水为池，每池随地形高下深浅，用木板闸之，以茅席铺底，取生铁击碎入沟排砌，引水通流浸染，候其色变，锻之则为铜，余水不可再用”。此云大体上是宋代其之后的一般情况，明代胆铜的基本操作或与之相类同。

值得注意的是，明人对胆水中的金属置换作用又有了新的认识。明沈周（1427～1509年）《石田杂记》载：“江西信州铅山铜井，其山出空青，井水碧色，以铅、锡入水浸二昼夜，则成黑锡，煎之则成铜。”[9]显然，这说的是铅、锡对铜的置换作用。《古今秘苑》卷二也有类似说法：“锡变红铜法：胆矾一两，白矾二钱，共为末，搽锡上，如金色，搽铁变红色。”这说的是锡、铁与铜的置换作用。

**四、炼锌技术的发明**

我国古代冶炼的单质金属计有8种，即金、银、铜、铁、锡、铅、汞、锌；半金属只有1种，即砷。在8种古代金属中，前7种皆始见于先秦时期，锌却是到了明代才见于记载的。

明宋应星《天工开物》卷一四“五金·附倭铅”条载：“凡倭铅，古书本无之，乃近世所立名色，其质用炉甘石熬炼而成。繁产山西太行山一带，而荆、衡为次之。每炉甘石十斤，装载入一泥罐内，封果（裹）泥固，以渐砑干，勿使见火拆裂。然后逐层用煤炭饼垫盛，其底铺薪，发火煅红，罐中炉甘石熔化成团。冷定，毁罐取出。每十耗去其二，即倭铅也。此物无铜收伏，入火即成烟飞去，以其似铅而性猛，故名之曰‘倭’云。”（图8－2－3）此“倭铅”音作“窝源（wō yuán）”，即是锌。“炉甘石”即菱锌矿，化学式 $ZnCO_3$。“泥罐”即炼锌用的坩埚。“此物无铜收

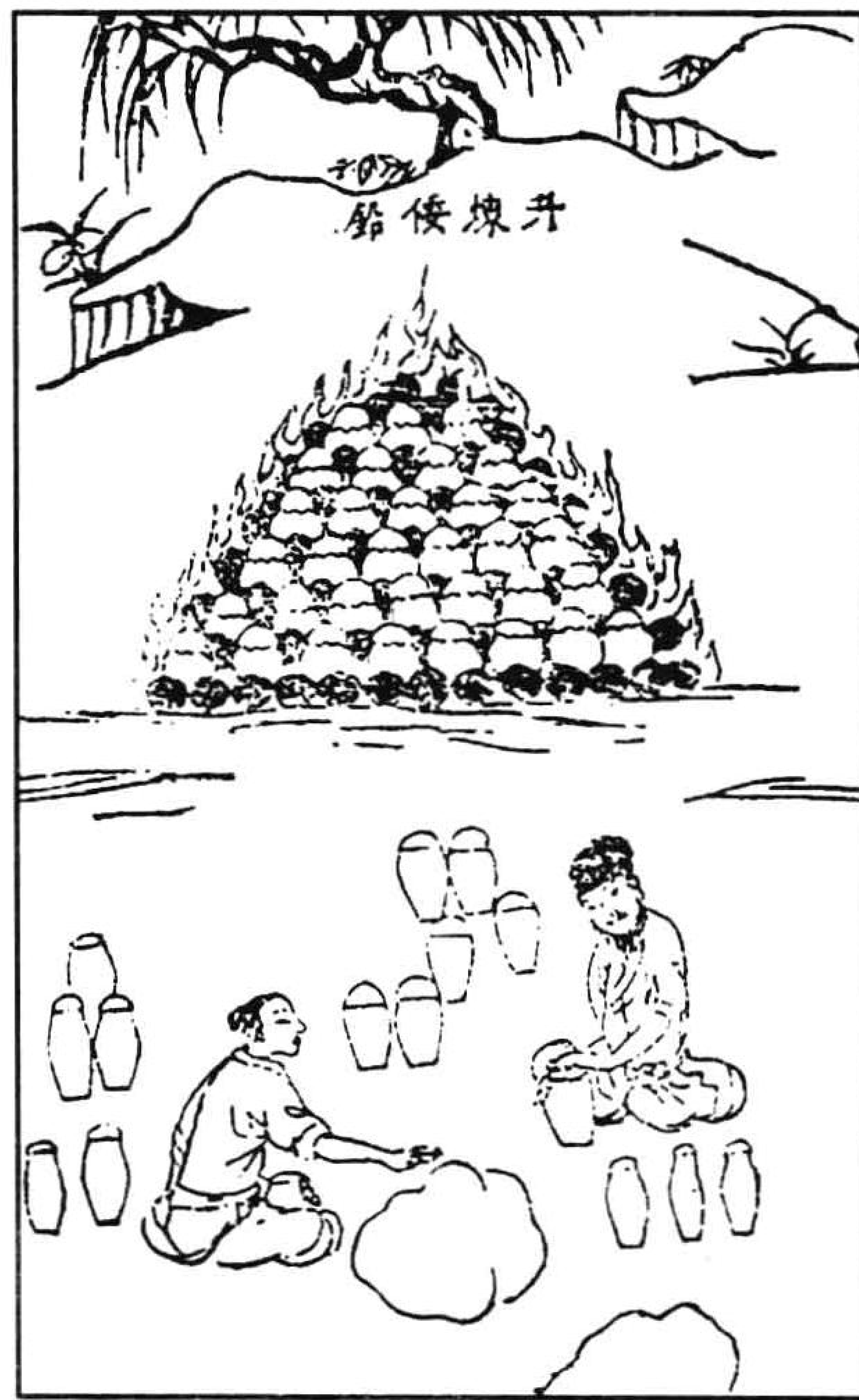



图8－2－3 《天工开物》所载“升炼倭铅”图



伏，入火即成烟飞去"，指锌的易挥发性能。这段文字谈到了明代炼锌的基本过程。这是今日所知，我国关于炼锌技术的最早记载。操作要点是：（1）将原料炉甘石装入泥罐。（2）先在加热炉底部铺薪一层，其上再放坩埚；坩埚之间用煤炭饼垫盛。（3）点火，外加热，蒸馏。（4）金属锌还原出来后，很快气化，且以蒸气形式逸出，在泥罐口部冷凝下来，并收集于扣合在一起的冷凝器（碗）内。（5）从冷凝"碗"内取锌。直到20世纪80年代，类似的立罐炼锌工艺在贵州等地还保存着[10]。

至于我国古代炼锌技术发明于何时，学术界曾有过许多不同意见，看来当可推至嘉靖及至稍早一个时期。其中一个重要依据是，嘉靖时期国家已开始大量用锌配铸钱币，有关情况后文再谈。

一些较新的考古资料认为，世界上最早发明炼锌技术的地方可能是印度，其西北部拉贾斯坦邦的查瓦尔古发现了一个炼锌遗址，年代上限为1025～1280年，16世纪便有了商业性生产。但印度之炼锌法是"上火下凝"式，坩埚口部是朝下的，宋应星图示的炼锌罐是口部朝上的，操作上存在不少差别。所以，我国之炼锌法与印度炼锌法未必存在什么联系[11]，很可能都是独自发明出来，自成一个技术体系的。

**五、金银冶炼技术的发展**

（一）黄金提纯技术的发展

明代黄金提取法主要沿用先世的工艺，但技术上更为熟练，赵匡华曾作过不少研究[12]。因金银经常共生，故此提纯的一个关键便是金银分离。此期的黄金提取法主要有：

硫炼金法。《墨娥小录》（1571年出版）卷六载："分次庚：以庚入甘（坩）埚中作汁，却以石灵芝（原注：倭硫也）为末，每一两投入三钱，触之，放冷，破埚取，赤庚在底下，其银气却被石灵芝触黑，浮在面上，取出入灰，煎成花银，如此则庚银不折也。"此"庚"即金。其操作计分两步：先使硫与银铜等重金属作用，生成的硫化物成渣而浮起，金与硫不相作用而被提纯；之后再通过还原冶炼，将银还原出来，如此便可达到庚、银不折的目的。此书原已失传，20世纪后期又发现一部，作者不明，郭正谊认为可能是陶宗仪[13]。

硼砂炼金法。宋应星《天工开物》卷一四"五金·黄金"条载："欲去银存金，则将其金打成薄片剪碎，每块以土泥果（裹）涂，入坩锅中鹏（硼）砂熔化，其银即吸入土内，让金流出，以成足色。然后入铅少许，另入坩锅内，勾出土内银，亦毫厘具在也。"此过程计分两步：第一步是先使硼砂与银作用而生成硼酸银，熔化后渗入土中，以达到金银分离的目的；第二步是用铅将银从硼酸银中置换出来。宋代已用硼砂制作药金，硼砂炼金法显然是在此基础上发展过来的[12]。

矾硝法。明初《格古要论》卷中"金铁论·金诈药"（成书于洪武二十年）条载："用燔（焰）硝、绿矾、盐，留窑器内，入净水调和，火上煎，色变则止，然后刷上金器物，烘干，留火内略烧焦色，急入净水刷洗，如不黄再上，然俱在外也。"此过程中大约产生了硝酸，使银溶解而达到金银分离的目的。但这只是一种表面处理工艺，它只能分离出"金器"表面上的银，故谓"俱在外也"。

（二）白银冶炼技术的发展

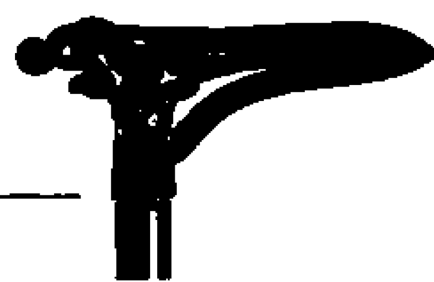
我国古代的炼银技术发明于先秦时期，但稍见详细的记载却是明代才出现的。

明陆容《菽园杂记》卷一四引《龙泉县志》系统地谈到了银矿开采、破碎淘洗、冶炼的整个过程，其在谈到焙烧和铅炼银法(灰吹法)时说："次用米糊搜伴，圆(团)如拳大，排于炭上，更以炭一尺许覆之，自旦发火，至申时住火，候冷，名'窖团'。次用烰银炉炽炭，投铅于炉中，候化，即投窖团入炉，用鞴鼓扇不停手，盖铅性能收银尽归炉底，独有滓浮于面。凡数次，（破)炉爬出炽火，掠出炉面滓垢。烹炼既熟，良久，以水灭火，则银铅为一，是谓铅驼(砣)。次就地用上等炉灰，视铅驼(砣)大小，作一浅灰窠，置铅驼(砣)于灰窠内，用炭团叠，侧扇火不住手。初铅银混，泓然于灰窠之内。望泓面有烟云之气，飞走不定。久之稍散，则雪花腾涌。雪花既尽，湛然澄彻。少顷，其色自一边先变浑色，是谓窠翻(原注：乃熟银之名)。烟云雪花，乃铅气未尽之状。铅性畏灰，故用灰以捕铅。铅既入灰，惟银独存。自辰至午，方见净银。铅入于灰坯，乃生药中密陀僧也"。此操作要点是：先焙烧去硫；后制作银铅合金，以去除非金属等类夹杂；再将铅氧化存银；此氧化铅即密陀僧。沈翼机等编《浙江通志》卷一〇七"物产"所引《龙泉县志》炼银术与此大体一致。

自然，依矿物种类和操作习惯之不同，各地炼银之法是有一定差别的。《天工开物》卷一四"五金·银"条在谈到云南等地一些炼银操作时说，其"成银者曰礁"，"凡礁砂入炉，先行拣净淘洗。其炉，土筑巨墩，高五尺许，底铺瓷屑、炭灰。每炉受礁砂二石，用栗木炭二百斤，周遭丛架。靠炉砌砖墙一朵（垛)，高阔皆丈余。风箱安置墙背，合两三人力，带拽透管通风。用墙以抵炎热，鼓鞴之人方克安身。炭尽之时，以长铁叉添入。风火力到，礁砂熔化成团。此时，银隐铅中，尚未脱出。计礁砂二石，熔出团约重百斤。冷定取出，另入分金炉（原注：一名虾蟆炉）内，用松木炭匝围，透一门以辨火色，其炉或施风箱，或使交箑，火热功到，铅沉下为底子（原注：其底已成陀僧样，别入炉炼，又成扁担铅)。频以柳枝从门隙入内燃照，铅气净尽，则世宝凝然成象矣。此初出银，亦名生银，倾定无丝纹，即再经一火，当中止现一点圆星，滇人名曰茶经。逮后入铜少许，重以铅力熔化，然后入槽成丝（原注：丝必倾槽而现，以四围匡住，宝气不横溢走散)。其楚雄所出又异，彼硐砂铅气甚少，向诸郡购铅佐炼，每礁百斤，先坐铅二百斤于炉内，然后煽炼成团，其再入虾蟆炉沉铅结银，则同法也"。引文前段所述当为银铅共生矿的冶炼情况，操作要点是：先作还原冶炼，银、铅皆被还原出来，且熔混如一；后段则说铅炼银法，使银与铅等重金属分离，以提纯银；对生银的提纯往往要进行多次。楚雄银矿的共生铅太少，故还原冶炼时须将铅加入。箑，即扇，风扇。

（三）关于金和银的合金

人们在提取和使用黄金的过程中，对黄金及其合金（如 Au－Ag、Au－Cu）的性态也有了进一步的认识。《本草纲目》卷八"金石·金·集解"条载："和银者性柔，试石则色青，和铜者性硬。"这里便谈到了 Au－Ag、Au－Cu 合金的性态。《天工开物》卷一四"五金·黄金"条载："凡金性又柔，可屈折如柳枝……凡足



色金参和伪售者，唯银可入，余物无望焉。"这些认识与现代技术原理皆基本相符。

此时关于银合金的知识也进一步丰富起来。《天工开物》卷一四"五金·铜"："凡造低伪银者，唯本色红铜可入；一受倭铅、砒、矾等气，则永不和合。然铜入银内，使白色顿成红色，洪炉再鼓，则清浊浮沉立分，至于净尽云。"《物理小识》卷七"银印兼铜"条还谈到了银铜合金的性能，其云："银铸则有印纹不到处，必入铜熔，则一铸而满纹皆就。"此说银铜合金的铸造性能更优于纯银。

**六、铅锡汞冶炼技术**

（一）炼铅技术

我国古代炼铅技术约发明于二里头文化时期，但较详细的记载是明代才看到的。

宋应星《天工开物》卷一四"五金·铅"条载："凡产铅山穴，繁于铜、锡。其质有三种：一出银矿中，包孕白银，初炼和银成团，再炼脱银沉底，曰银矿铅。此铅云南为盛。一出铜矿中，入洪炉炼化，铅先出，铜后随，曰铜山铅。此铅贵州为盛。一出单生铅穴，取者穴山石，挟油灯寻脉，曲折如采银矿。取出淘洗煎炼，名曰草节铅。此铅蜀中嘉、利等州为盛。其余雅州出钓脚铅，形如皂荚子，又如蝌斗子，生山涧沙中，广信郡上饶、饶郡乐平出杂铜铅；剑州出阴平铅，难以枚举。凡银矿中铅，炼铅成底，炼底复成铅。草节铅单入洪炉煎炼，炉傍通管，注入长条土槽内，俗名扁担铅，亦曰出山铅，所以别于凡银炉内频经煎炼者。"在此较为系统地谈到了铅的矿物形态、分布状况，以及不同的冶炼工艺。宋应星认为铅矿及其冶炼方法主要有三种，一是"银矿铅"，即与银共生之铅，如与银共生的方铅矿等；炼铅之法是先还原出银铅合金，之后将银铅分离。二是"铜山铅"，即与铜共生之铅；炼铅之法是同入洪炉做还原冶炼，铅先出，铜后出。三是单一的铅矿，又叫草节铅，大约指方铅矿。此外，还有钓脚铅（自然铅）、杂铜铅、阴平铅等种。宋应星在此依矿物形态与冶炼工艺对铅进行了分类，与近代分类思想较为接近。

（二）炼锡技术

锡在我国古代青铜文化中起到过十分重要的作用，但关于其冶炼操作的记载也是到了明代才看到的。

宋应星《天工开物》卷一四"五金·锡"条对锡的产地、矿物形态、冶炼方法都作了详细的介绍："凡锡，中国偏出西南郡邑，东北寡生……今衣被天下者，独广西南丹、河池二州，居其十八；衡、永则次之。大理、楚雄即产锡甚盛，道远难致也。"这是说明代锡的产地。"凡锡有山锡、水锡两种；山锡又有锡瓜、锡砂两种。锡瓜块大如小瓠，锡砂如豆粒，皆穴土不甚深而得之。间或土中生脉充牣，致山中自颓，恣人拾取者。水锡，衡、永出溪中，广西则出南丹州河内；其质黑色，粉碎如重罗面。南丹河出者，居民旬前从南淘至北，旬后又从北淘至南，愈经淘取，其砂日长，百年不竭……南丹出锡，出山之阴；其方无水淘洗，则连接百竹为枧，从山阳枧水淘洗土滓，然后入炉。"此是说锡的矿物形态和开采技术。"凡炼煎亦用洪炉，入砂数百斤，丛架木炭亦数百斤，鼓鞴熔化。火力已到，





砂不即熔，用铅少许勾引，方始沛然流注。或有用人家炒锡剩灰勾引者，其炉底炭末、瓷灰铺作平池，傍安铁管小槽道，熔时流出炉外低池。其质初出洁白，然过刚，承锤即拆裂。入铅制柔，方充造器用。售者杂铅太多，欲取净则熔化，入醋淬八九度，铅尽化灰而去。”这是说锡的冶炼操作，计约分为两步：（1）还原冶炼。其中的“用铅少许”应是为了降低金属熔点，用“剩灰”当是为了造渣，目的是使渣与还原出来的金属较好地分离。（2）醋淬去铅。因第一步得到的实为铅锡合金，故第二步便是在高温下使铅与醋作用，生成醋酸铅 $Pb(CH_3COO)_2$，从而达到铅、锡分离的目的。《物理小识》卷七也有类似的记载。从现代技术观点看，还原冶炼前还应有一道焙烧工序，以去除部分硫等杂质。

（三）炼汞技术

宋、元之后，我国的炼汞法主要是蒸馏法，其他方法很少再用。此法约发明于唐。

宋应星《天工开物》卷一六“丹青·朱”较完整地记述了明代汞矿的主要产地、产状、矿物形态、采选，以及汞和银珠的冶炼等：“凡升水银，或用嫩白次砂，或用缸中跌出浮面二朱，水和槎（搓）成大盘条，每三十斤入一釜内升汞，其下炭质亦用三十斤。凡升汞，上盖一釜，釜当中留一小孔，釜旁盐泥紧固。釜上用铁打成一曲弓溜管，其管用麻绳密缠通稍（梢），仍用盐泥涂固。煅火之时，曲溜一头插入釜中通气（原注：插处一丝固密），一头以中罐注水两瓶，插曲溜尾于内，釜中之气达于罐中之水而止。共煅五个时辰，其中砂末尽化成汞，布于满釜。冷定一日，取出扫下。此最妙玄，化全部天机也”。（图 8-2-4）可见这炼汞用的原料是嫩白次砂和“浮面二朱”，还原剂是炭。其冶炼设备主要由三部分组成：（1）加热室。内盛朱砂和炭，下加热；顶部有一汞蒸气出口，与导管相连。（2）汞蒸气传导管，图中叫铁弓空管。其一端插入加热室顶部，另一端与冷凝罐相连。凡接口处皆须密封。（3）冷凝罐，内中盛水。汞被还原出来后，即刻气化，由导管进入冷凝器而被收集起来。可见这是一个生产率较高、且能较好地收集汞蒸气的冶炼装置。整个工艺已相当成熟。古人将炼汞和炼锌皆谓之“升炼”，既形象又确切。这是一段难得的记载。

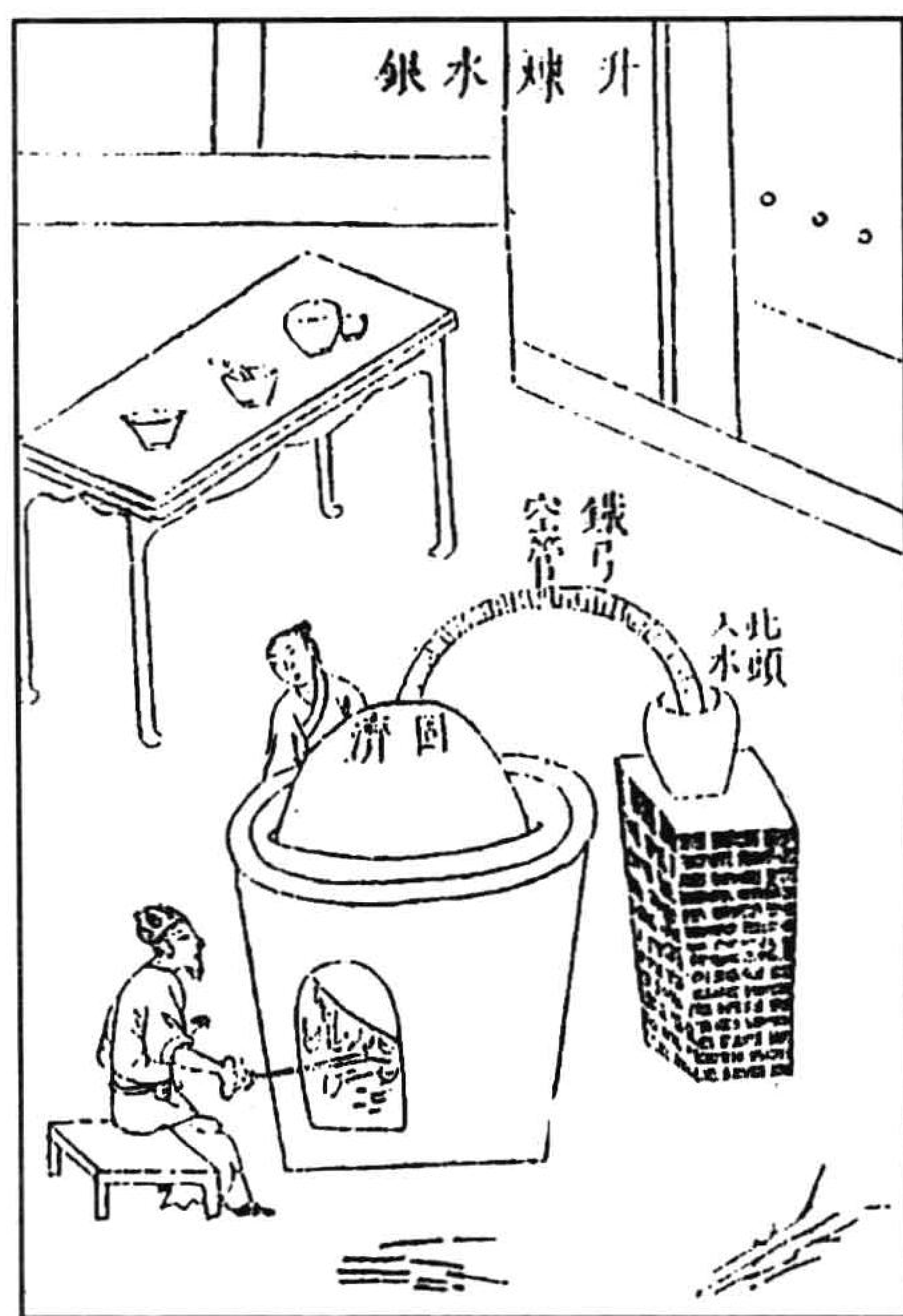
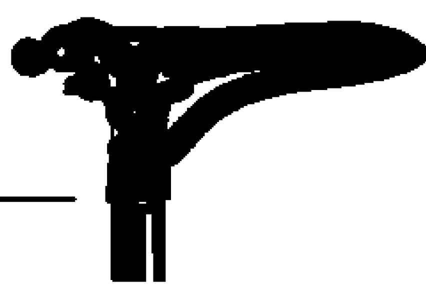



**图 8-2-4 《天工开物》所载“升炼水银”图**

**七、青铜和白铜技术的发展**

我国古代的铜合金技术约产生于先秦，至明，三种主要的铜合金，即青铜、白铜、黄铜，技术上都更为成熟，产量提高、使用范围扩展，认识上也更深化。



明李时珍（1518～1593年）《本草纲目》卷八“金石·赤铜·集解”云：“铜有赤铜、白铜、青铜。赤铜出川、广、云、贵诸处山中，土人穴山采矿采取之。白铜出云南，青铜出南番，惟赤铜为用最多，且可入药。人以炉甘石炼为黄铜，其色如金，砒石炼为白铜，杂锡炼为响铜。”这里把铜及其合金分成了赤铜、白铜、黄铜、响铜、青铜5种；前三者的含义与现代的基本一致，其中的“白铜”似包括镍白铜(云南白铜)和砷白铜(砒石白铜)两种；“响铜”即是用作响器的Cu－Sn合金；由传统技术中的习惯用语来看，此“青铜”很可能是指含镍稍高的一种铜镍合金，这一点，下章还要谈到。

宋应星《天工开物》卷一四“五金·铜”条说得更为简明：“凡铜供世用，出山与出炉止有赤铜。以炉甘石或倭铅参和，转色为黄铜；以砒霜等药制炼为白铜；矾、硝等药制炼为青铜；广锡参和为响铜；倭铅和写(泻)为铸铜；初质则一味红铜而已。”此亦将铜合金区分成了黄铜、响铜、白铜、铸铜、青铜5种。此“黄铜”、“响铜”的含义与李时珍相同；此“白铜”含义与李时珍稍有不同，此仅指砷白铜(砒石白铜)；但李、宋两种说法都是与现代技术语汇相通的。这里的“青铜”依然指含镍稍高的一种铜镍合金。此“铸铜”与“黄铜”都是Cu－Zn合金。

在明代，青铜依然主要用作铸钱、铸镜和制作响器；白铜分砷白铜和镍白铜两种，都主要用作一般性用器；黄铜主要用作铸钱。

（一）响器

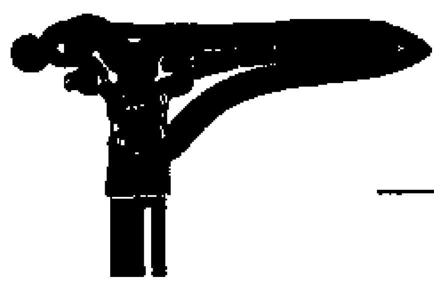
我国古代响器包括乐钟、朝钟、梵钟、锣钹等数种。乐钟在先秦使用较多，后世减少；后几种在明代都有使用。

锣钹一般含锡量较高，宋应星《天工开物》卷一四“五金·铜”载：“凡用铜造响器，用出山广锡无铅气者入内。钲（今名锣）、锣（今名铜鼓）之类，皆红铜八斤，入广锡二斤，铙、钹，铜与锡更加精炼。”“广锡”，广西所产之锡。依此，原料配比便为铜80%、锡20%。显然，这种成分的响器具有较为清脆、悠扬的音质。

梵钟和朝钟含锡量较锣钹稍低。《天工开物》卷八“冶铸·钟”载：“凡铸钟，高者铜质，下者铁质。今北极朝钟则纯用响铜，每口共费铜四万七千斤，锡四千斤，金五十两、银一百二十四两于内。”若烧损均衡的话，此钟的含锡量便为7.8%；考虑到烧损时，实际含锡量当低于此数。至于铸钟是否要加入金、银，它们对钟的机械性能和发音效果有何影响，则要用实验来证实。凌业勤[14]、吴坤仪[15][16]分析过7座明代梵钟，即永乐大钟、宣德甲寅钟、成化十年钟、正德三年钟、宣德五年钟、万历戊午钟、天启钟；成分为：铜66%～80.8%，平均75.18%；锡12.2%～18.7%，平均16.69%；铅0.04%～1.12%，平均0.51%。可知其皆为锡青铜，含锡量皆较宋应星所说为高，其中著名的永乐大钟成分为：铜80.54%、锡16.4%、铅1.12%[14]。

（二）铜镜

铜镜技术在宋代便进入了衰退期，明代虽铸制过一些稍好的铜镜，但终不及汉、唐。我统计过4件明代铜镜合金成分[17][18]，便有3种不同的合金：（1）锡青铜和铅锡青铜，2件，但含锡量皆较低（11.844%～15.014%），平均成分为：铜





82.312%、锡13.429%、铅3.758%。（2）锡铅青铜镜，1件，铜81.53%、锡8.10%、铅10.368%。（3）锡锌铅青铜镜，1件，铜79.95%、锡5.97%、铅11.45%、锌9.18%[17]。4件标本竟有3种合金，可见其合金制度之淆乱。但值得注意的是，此时人们对高锡青铜镜依然是十分重视的。《天工开物》卷八"冶铸·镜"条载："凡铸镜，模用灰沙，铜用锡和（不用倭铅）。"此说铸镜须配锡，未提到配铅，反对配锌，这与我国传统认识是基本一致的。这说明，一种正确的认识一旦在历史上出现，是很难消亡下去的。

（三）钱币

明代使用的铸币合金有一个较为明显的界线，即嘉靖以前基本上都是青铜质，嘉靖时兼用青铜与黄铜，之后基本上皆用黄铜。有学者分析过30枚嘉靖之前的钱币合金成分[19]，基本情况为：（1）成分分布不甚均匀，30枚钱币中，有锡铅青铜钱22枚，占标本总数的73.33%；铅锡青铜钱7枚，占23.33%；锌铅青铜钱1枚，占3.33%。（2）含铅量较宋代低，含锡量明显升高。30枚的平均成分为铜75.351%，铅14.824%，锡7.795%。可见，虽明代前期铜钱沿用了先世以铅为主要合金元素的制度，但百分比数作了调整。（3）锌铅青铜钱出现于弘治时，含锌量达9.77%。

我国古代钱币技术始于先秦，终于明、清，其合金技术经历了漫长的发展历程。先秦各国钱币一般含铅量较高、含锡量较低。汉时铅锡量都较低。及唐，铅锡量都稍有提高。宋时，含铅量大幅度提高，含锡量明显降低；北宋钱币多为：铅20%～30%，锡5%～11%；南宋钱币平均含铅量达37%左右，含锡量不足4%。明代前期钱币含铅量有所降低，嘉靖后出现了黄铜钱。从先秦到明嘉靖，我国钱币的主要合金元素是铅，其含铅量经历了"高—低—高—低"的发展过程。

（四）镍白铜

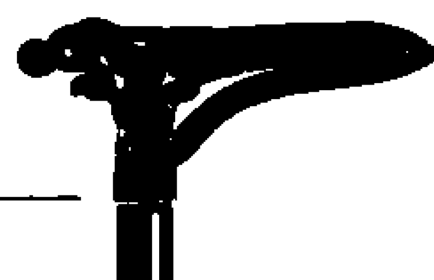
自古至今，我国镍白铜主要产于云南、四川两省交界的会理、会泽、巧家和牟定一带。黄一正《事物绀珠》卷二五"珍宝·五金"载："白铜出滇南，如银。"[20]此说云南产白铜。《明一统志》卷七三"四川行都指挥使司"载："土产：铁、盐、白铜（原注：宁番卫出）"等。此书成于明天顺五年（1461年）。宁番卫治今四川冕宁县。明屠隆《考槃余事》卷三"香笺·匙箸"条载："云间胡文明制者佳，南都白铜者亦适用，金玉者似不堪用。"此白铜已被制作日用器，说明其产量不低。明文震亨《长物志》卷七"器用·匙筋"条也有类似说法："紫铜者佳，云间胡文明及南都白铜者亦可用。"

（五）关于砷白铜

元、明时期，砷白铜成了一种较为重要的铜合金，产量也不太低。除前引《本草纲目》卷八、《天工开物》卷一四等外，其他地方也曾提及。如：

《天工开物》卷一〇"锤锻·治铜"载，凡红铜，"用砒升者为白铜器，工费倍难，侈者事之"。说砷白铜器制作较难，唯侈奢之人使用。

宋应星《天工开物》卷一一"燔石·砒石"条在谈到砒的使用情况时说："此物生人食过分厘立死，然每岁千万金钱速售不滞者，以晋地菽麦必用伴（拌）种，且驱田中黄鼠害；宁绍郡稻田必用蘸秧根，则丰收也。不然，火药与染铜，需用





能几何哉!”此以砒石“染铜”，产品当是砷白铜，此“染”的具体操作不详，不能排除“配制砷白铜”的可能性。

**八、黄铜技术的重要进步**

我国人工配制黄铜的技术始于何时，目前学术界尚无一致的意见，可以肯定的是宋代便有了以炉甘石配制黄铜的记载。明代之后，黄铜技术便有了较大发展，主要表现在：（1）出现了以倭铅与红铜直接配制黄铜的工艺；（2）人们对黄铜的性能有了进一步的认识，并总结出了一套行之有效的合金配制技术，其中包括简单黄铜和复杂黄铜；（3）边境地区亦生产了黄铜，使用范围大为扩展。

明代前期的黄铜大约依然是利用炉甘石点化的，中后期便发生了变化，有学者分析过从嘉靖到崇祯的72枚明代钱币[19]，从分析情况可知：

（1）钱币合金出现了以黄铜为主的局面。在72枚钱币中，有黄铜钱70枚，占标本总数的97.22%；青铜钱只有2枚，即铅锡青铜、锌铅青铜钱各1枚，计占试样总数的2.78%。

（2）由嘉靖到崇祯，钱币含锌量大体可分成两个区域。万历以前，平均含锌稍低，多为12%～23%；万历之后明显升高，多为29%～34%。

（3）70枚黄铜钱的成分分布是：铅黄铜31枚、锡铅黄铜17枚、简单黄铜13枚、锡黄铜7枚、铅锡黄铜2枚；可知明代中后期钱币主要是铅黄铜，次为锡铅黄铜。

（4）随着时间的迁移，各种黄铜钱的升迁状况是不同的：锡黄铜币逐渐减少，铅黄铜币却是不断增多。在今人分析过的嘉靖至明末72枚钱币中，锡黄铜钱只有7枚，皆属嘉靖时期；嘉靖通宝、隆庆通宝无一属于铅黄铜；而在万历通宝、泰昌通宝、天启通宝、崇祯通宝中，半数皆属铅黄铜。

明代文献中还有了关于铸件配锌量的记载。宋应星《天工开物》卷八“冶铸·钱”条载：“凡铸钱每十斤，红铜居六七，倭铅（原注：京中名水锡）居三四，此等分大略。”这是说铸钱。同书卷一四“五金·铜”条又云：“凡铸器，低者红铜、倭铅均平分两，甚至铅六铜四；高者名三火黄铜、四火熟铜，则铜七而铅三也。”这是说铸造一般器物。可见此黄铜铸件的成分范围是较宽的，其中说到的三七黄铜和四六黄铜，基本上都处于α－黄铜相区，其强度较高，塑性多数亦较高，对钱币来说，这是一种较好的配比；对塑性要求不是太高的器物，则配锌量可达50%或稍高。

明时，黄铜的使用范围有了较大扩展。除钱币外，大家较为熟悉的黄铜器物还有：建筑用料、印章、祭祀用品（宣德炉等），及其他生活用器。明陈仁锡《潜确居类书》卷九三说：“我明皇极殿顶名是风磨铜，更贵于金，一云即‘鍮石’也。”这是建筑用黄铜之例。“风磨铜”即鍮石、黄铜，此名至今民间仍在沿用。

**九、铸造技术的长足进步**

明代的熔炼技术也有了提高，泥型铸造、出蜡铸造都有了长足进步，砂型铸造进一步推广开来。既浇铸出了诸如宣德炉那样艺术价值极高的祭祀品，还采用群炉汇聚的方式，浇铸出了类如朝钟、梵钟这样的大型铸件，使我国古代铸造技术发展到了一个新的高峰。

（一）熔炼技术的发展

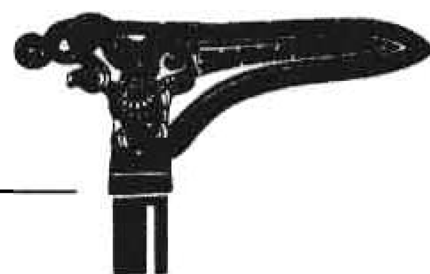
及明，标以“炼数”的精炼工艺依然保存着，而且还形成了一套包括加料顺序在内的、较为完善的金属熔炼、精炼工艺。

明冯梦祯《快雪堂漫录》载：“凡铸镜，炼铜最难，先将铜烧红打碎成屑，盐醋捣，荸荠拌，铜埋地中；一七日取出，入炉中化清，每一两投磁石末一钱，次下火硝一钱，次投羊骨髓一钱；将铜倾太湖沙上，别沙不用。如前法六七次，愈多愈妙。待铜极清，加椀锡；每红铜一斤加锡五两，白铜一斤加六两五钱。所用水，梅水及扬子江水为佳。白铜炼净一斤只得六两，红铜得十两，白铜为精。”此“磁石”（$Fe_3O_4$）、“火硝”，皆为氧化性熔剂，它们皆可起到除气(氢)的作用。“羊骨髓”含磷，为脱氧剂[18]。“椀锡”即锌。清郑复光《镜镜诊痴》卷四“作照景镜”条说：“倭铅即白铅，又名椀锡。”此“白铜”当为镍白铜，也可能是砷白铜。可见，此加料熔炼的步骤是：先用磁石、火硝来提高熔液含氧量，以达到除氢气的目的；之后再用羊骨髓脱氧；之后加锌，以减少锡的氧化；最后再加锡。这是一套相当完善的熔炼、精炼工艺，它与现代技术原理是基本相符的。文中的“如前法六七次”主要指除气、脱氧两道工序；至于文中所云“愈多愈妙”，则未必完全可信。

（二）出蜡铸造

明人不但用出蜡法铸造出印章等精细物件，并且用它铸造出朝钟一类大型铸件。《天工开物》卷八“冶铸·钟”条便详细记述过出蜡法铸造“万钧钟”的工艺过程：“凡造万钧钟，与铸鼎法同。堀坑深丈几尺，燥筑其中如房舍，埏泥作模骨；其模骨用石灰三和土筑，不使有丝毫隙拆。干燥之后，以牛油、黄蜡附其上数寸。油蜡分两：油居什八，蜡居什二。其上高蔽抵晴雨（夏月不可为，油不冻结）。油蜡墁定，然后雕镂书文、物象，丝发成就。然后，舂筛绝细土与炭末为泥，涂墁以渐而加厚至数寸。使其内外透体干坚。外施火力炙化其中油蜡，从口上孔隙熔流净尽，则其中空处即钟、鼎托体之区也。凡油蜡一斤虚位，填铜十斤。塑油时尽油十斤，则备铜百斤以俟之。中既空尽，则议熔铜。凡火铜至万钧，非手足所能驱使。四面筑炉，四面泥作槽道，其道上口承接炉中，下口斜低以就钟、鼎入铜孔。槽旁一齐红炭炽围。洪炉熔化时，决开槽梗（原注：先泥土为梗塞住），一齐如水横流，从槽道中枧注而下，钟鼎成矣。凡万钧铁钟与炉、釜，其法皆同，而塑法则由人省啬也。”墁，即涂抹，粉刷。此主要工艺环节是：（1）构筑浇铸坑。（2）做模骨。（3）在模骨上敷牛油、黄蜡。其中未谈及松香。（4）在油、蜡模上雕镂文书、物象。（5）在蜡模上敷细泥。（6）加热炙化油蜡。（7）浇铸。这是我国古代关于出蜡法铸造大型器物的最早记载。此尤具特色的操作是：要构筑浇铸坑、四面筑炉化铜。

明文彭《印章集说》则谈到过出蜡法铸印的基本过程：“铸印有二：曰翻砂，曰拨蜡……拨蜡以蜡为印，刻纹制钮于上，以焦泥涂之，外加熟泥，留一孔令干，去其蜡，以铜熔化入之。其文法钮形，制具精妙。辟邪狮兽等钮，多用拨蜡。”此“拨蜡”法，即元人之谓“出蜡法”。今俗“失蜡法”之名是外来语，应是 lost waxprocess 的意译，看来，“失蜡法”之名尚不及“出蜡法”或“拨蜡法”来得确




切、明了。印章虽为小件器物，但基本操作过程与前是一样的。

（三）翻砂铸造

翻砂铸造在明代已经使用较广，工艺上也更加成熟起来。前引《印章集说》便有砂模铸造的明确记载，其云："铸印有二：曰翻砂，曰拨蜡。翻砂以木为印，复于砂中，如铸钱之法。"此亦明确说到了"翻砂"。

《天工开物》卷八"冶铸·钱"曾完整地记载了明代铸钱的整个工艺过程，但其铸型的质地如何，因原文记述不清，铸造史界曾有不同说法；有说其为砂型者[21]，有说为泥型者[22]，可以进一步研究。今暂置翻砂法中，且将原文引述如下："凡铸钱模，以木四条为空匡（原注：木长一尺二寸，阔一寸二分）。土、炭末筛令极细，填实匡中，微洒杉木炭灰或柳木炭灰于其面上，或熏模则用松香与清油。然后以母钱百文（原注：用锡雕成），或字或背，布置其上。又用一匡，如前法填实合盖之。既合之后，已成面、背两匡，随手复转，则母钱尽落后匡之上。又用一匡填实，合上后匡，如是转复，只合十余匡。然后以绳捆定，其木匡上弦原留入铜眼孔，铸工用鹰嘴钳，洪炉提出熔罐，一人以别钳扶抬罐底相助，逐一倾入孔中。冷定，解绳开匡，则磊落百文，如花果附枝，模中原印空梗，走铜如树枝样，挟出逐一摘断，以待磨锉成钱。"（图8－2－5）这是我国古代钱币铸造至为详细的记载。这里谈到了熏模剂，包括松香和清油两种物料，以作脱模剂。清油，当即菜子油，南方至今依然有此称谓。《天府广记》卷二二"宝源局·铸钱则例"在规范铸钱工艺的操作要点时，也多次提到过脱模剂。脱模剂在我国使用较早，但此前记载较少。

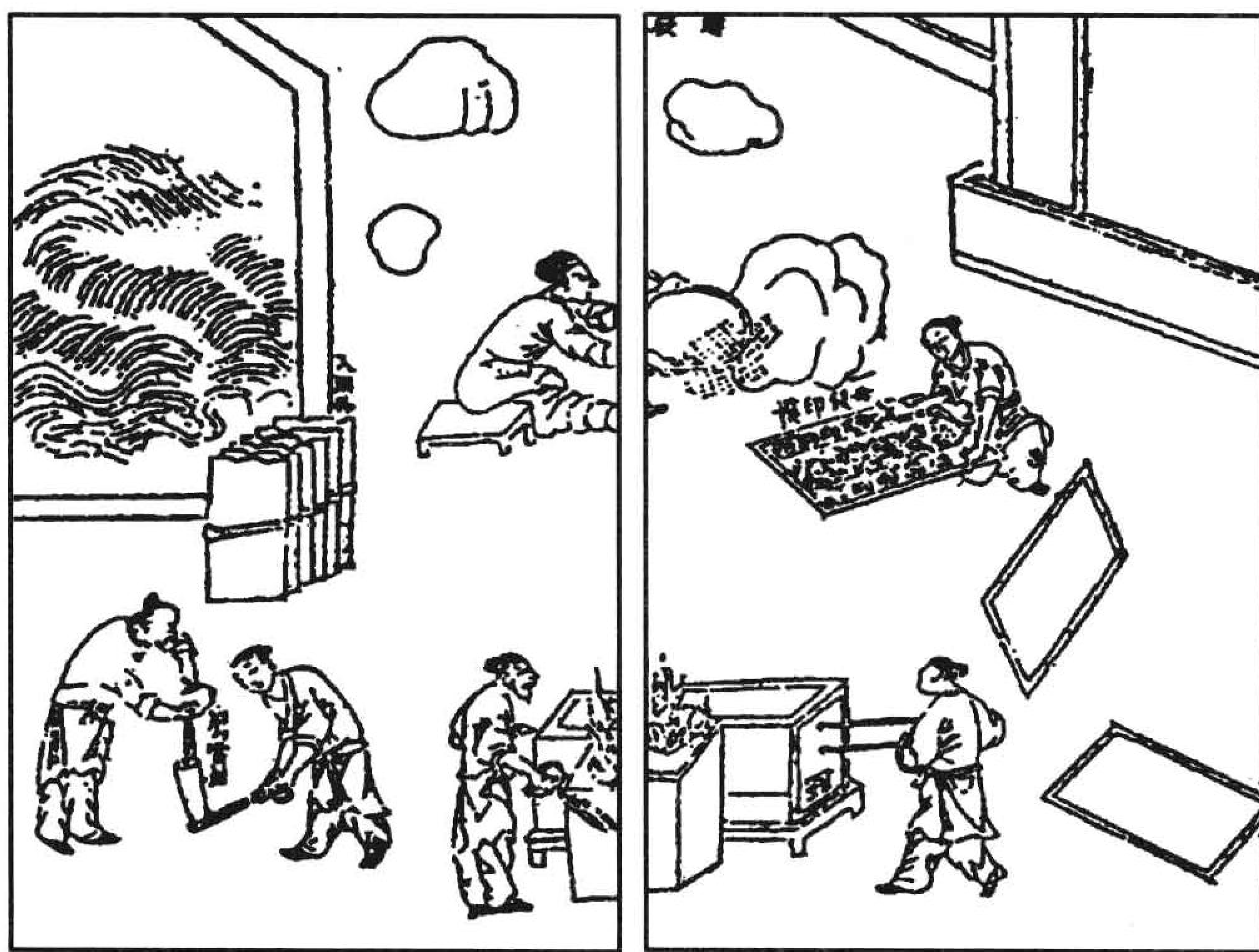
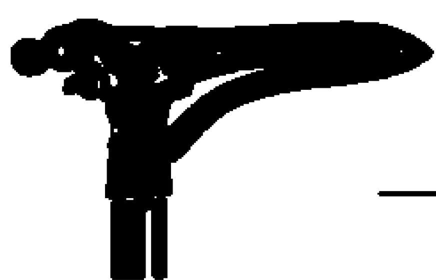


**图8－2－5　《天工开物》所载"铸钱"图**

（四）泥型铸造

泥型铸造是我国古代使用时间最早、范围最广、沿用时间最长的铸造工艺，明、清时期不但较多地用到了火炮、锅釜等器物的铸造中，而且还用到了诸如永乐大钟一类的特大型铸件上，把泥型铸造推向了又一高峰。





“永乐大钟”系明永乐年间在德胜门内铸钟厂铸成，初悬于汉经厂，明万历五年（1577 年）移至西直门外万寿寺，清雍正十一年（1733 年）移至西郊觉生寺，以至今日。其声宏亮，清脆悠扬，“昼夜撞击，声闻数十里”。钟通高 6.75 米，口外径 3.3 米，钟唇厚 0.185 米，总重量约 46.5 吨。钟体内外满铸 23 万多字，其中有汉文，也有梵文；有《华严经》、《金刚经》等。合金成分已如前述。泥型铸造，钟体与蒲牢是分铸的；钟体有 7 层外圈范、钟顶 10 块外范，芯为一个整体。凌业勤[23]、吴坤仪[15]等都曾对其铸造工艺进行过研究。这是世界上现存较大的钟之一，是世界上铭文最多的钟；既是佛教的梵钟，也是代表皇权的朝钟。

**十、金属加工技术的多项成就**

随着社会生产的发展，明代的金属加工技术有了很大的提高，在锻打技术方面，铁锚加工、火铳成型、锣钹技术、花纹钢技术都有了较大进步。钢铁、青铜、黄铜的锻造都有了提高；金属复合材料技术、拉拔技术、焊接技术，都有了长足的进步。此时还制作了宣德炉，这是一种具有较高技术水平和艺术价值的祭礼用品，在合金技术、铸造和表面处理技术上，都达到了较高的水平。我国古代金属加工技术曾有过三次较大的发展，第一次是春秋战国，第二次是汉代，第三次便是明代。

（一）钢铁锻造技术的发展

从历史上看，我国古代的金属成型，相当长一个时期内是以“铸”为主的；直到宋代，生产工具、生活用具、兵器中的主要器物，才最后完成了“由铸造为主到锻造为主”的转变。明代之后，锻造技术又有了新的发展，尤其值得注意的器物是火铳、铁锚、铁索桥和花纹钢，它们在一定程度上反映了明代锻造技术的先进水平。

1. 火铳

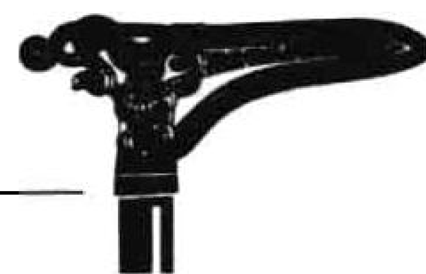
我国的管形火器约发明于宋，早期多为铸造；铸件的缺点是表面粗糙、组织疏松、常有气孔和砂眼；及至明代，管形火器才由铸制发展到了锻制的阶段。

《武编》“前集”卷五“铁条”载，铁有生铁，有熟铁。熟铁多瀵滓，“今人用以造刀、铳、器血（皿）之类是也”。枪、铳、炮，是我国古代三种主要的管形火器。可见明代中期已有了锻制铁铳。明赵常吉《神器谱》“制铳”条说到过用福建炒铁制铳。当然，我国明、清火炮还是以铸制为主的，宋应星《天工开物》卷八“冶铸”设有铸“炮”一节，并说其质地有的用熟铜，或生铜与熟铜兼半，有的用铁。该书卷一〇专谈“锤锻”，谈到了许多器物的锻造，但无“锻炮”的内容。今在各地博物馆看到的明、清管形火器亦多为铸制。

2. 铁锚

我国古代铁锚发明较早，但关于其制作工艺的记载却是到了明代才看到的。

《天工开物》卷一〇“锤锻·锚”载：“凡舟行遇风难泊，则全身系命于锚。战舡、海舡，有重千钧者。锤法：先成四爪，以次逐节接身。其三百斤以内者，用径尺阔砧，安顿炉傍，当其两端皆红，掀去炉炭，铁包木棍，夹持上砧。若千斤内外者，则架木为棚，多人立其上，共持铁练（链），两接锚身，其末皆带巨铁圈练(链)套，提起捩转，咸力捶合。合药不用黄泥，先取陈久壁土筛细，一人频



撒接口之中，浑合方无微罅。盖炉锤之中，此物其最巨者。”（图8－2－6）这里介绍了铁锚加工的全过程。其工艺要点是：分段锻成，逐节接身；壁土频撒，威力锤合。重300斤以内者，直接用人力操纵；千斤内外者，则架设人力捩转的起重装置。其中的“黄泥”、“陈久壁土”可能是一种保护性熔剂，使锻缝免遭氧化。不管东方还是西方，炉锤之中，铁锚都是较大的器物。

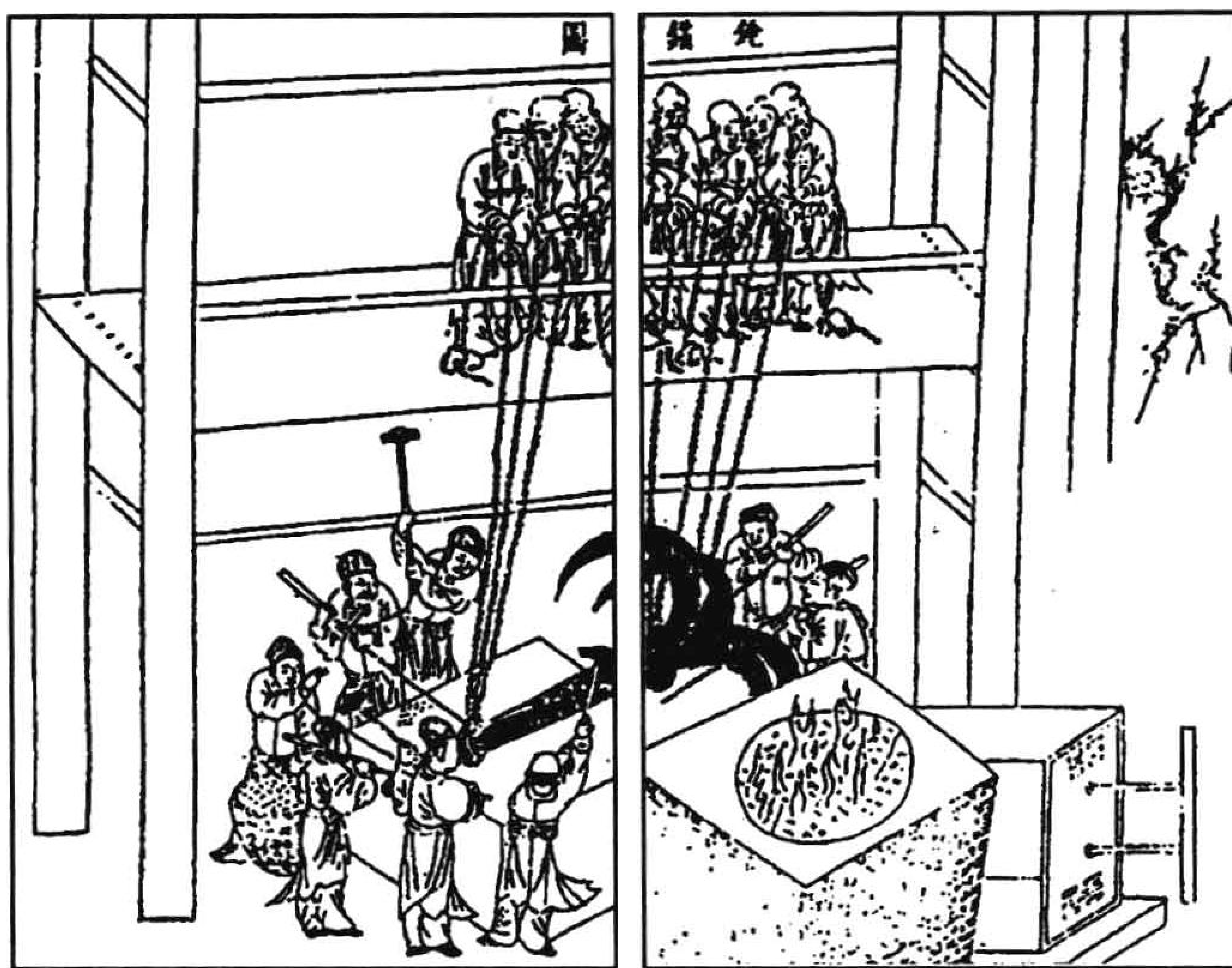


**图8－2－6　《天工开物》所载“锤锚图”**

3．花纹钢技术的发展

明、清时期，花纹钢技术又有了进一步发展，不但旧有的工艺更为熟练，同时还发明了一些新工艺。

明方以智《物理小识》卷七“金石类·藏铁不锈法”方中通注曰：“折铁者，锤钢条而入银，曲折锤之，如此百次。”可见，此“折铁”是具有银白色花纹的钢铁材料；其约始见于宋；但非“锤钢条而入银”所成，而是用纯铁或熟铁、低碳钢，与高碳钢锻合而成。

明代还有一种“菊花钢”。明屠隆《考槃余事》卷四“起居器服笺·印章”说，刻印章“惟用菊花钢煅而为刀”。此花纹钢工艺不明。

明代还有一种用表面处理方式得到的花纹钢。《武编》“前集”卷五“铁”条载：“刀花：羊角煅灰、粉心水提过、酸酸草烧灰、硝、酱。”（茅元仪《武备志》卷一〇五“铁钢附”条所引基本相同）此“羊骨煅灰”、“酱”皆为含碳物质，“硝”为含氮物质。看来，此当是渗碳或碳氮共渗的化学热处理工艺。作此处理后，刀剑表面便因成分和组织的不均，从而显示出花纹来。这是我国花纹钢工艺的又一成果。

从前述文献记载和传统技术调查来看，我国和世界古代花纹钢工艺主要有五种类型，即：

（1）铸造型花纹钢（Лигая уэорчатая Сталъ）。其以印度乌茨（wootz）钢为

原料加工而成，习谓“铸造大马士革钢”，在俄国又叫布拉特钢（图版拾肆，2、3）。乌茨钢是一种坩埚钢，它又有两种不同的工艺[24]。

（2）锻焊型花纹钢。这是以两种含碳量相差较大的铁碳合金（其中一种可为纯铁），通过某种方式锻合、焊合成的。依锻合、焊合方式之不同，其又有一些不同操作：有的比较讲究多层积叠、多次折叠、多次旋拧、反复锻打，故花纹亦较华茂、流畅，且无规则，如我国古代的“百辟百炼”型花纹钢、中东和欧洲的“锻造大马士革钢”、唐慧琳说的镔铁、日本刀的地文钢、20世纪30年代北平的折花钢和1981年我们模拟的北平折花剑等[25]。有的只注重材料的积叠，不作过多的折叠和旋拧，花纹较有规则，如波罗的海沿岸的大马士革钢、马来的克力士短剑钢等；有的则在积叠锻合后，再作机械的剪切、挖锉等加工，如20世纪30年代前北平的一种“马牙钢（锯齿纹钢）”等。

（3）灌炼型花纹钢。其原料是生铁和“熟铁”，基本操作与灌钢相类同。主要见于下列文献：一是前引晋张协《七命》，其云“万辟千灌……神器化成，阳文阴缦”；二是前引宋周去非《岭外代答》卷六，其云“融州人以梧铁淋铜（钢），以黄岗铁夹盘煅之，遂成松文”。

（4）局部渗碳型花纹钢。如前引明《武编》“前集”卷五所云“刀花”等。

（5）局部热处理型花纹钢。如日本刀的刃纹钢等。

这是目前所知的古代中国和世界花纹钢的五种类型，此外可能还有一些，可以进一步研究。五种花纹钢中，第一种主要产于古印度，第五种主要见于日本；古代世界上使用最广的是第二种的“百辟百炼”型，在东方、西方都可看到；第三、四种主要见于我国文献，第三种为中国特有，第四种在其他地方亦很少看到。这种分类的主要依据是其工艺原理。

4．铁索桥

我国古代铁索桥约兴起于公元3世纪后期，最初主要用于军事；约8世纪前期，便架设了著名的民用铁索桥；明、清时期，铁索桥工程有了长足的进步，我国西南一些峡谷幽深、水流湍急处架设了多座大型铁索桥。在明代，大家较为熟悉的有贵州盘江桥、云南霁红桥等。

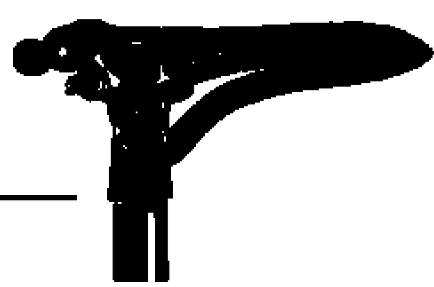
田雯《古欢堂集》卷三八“黔书·铁索桥”载，盘江之源出自金沙江，所经处遇两山夹峙，一水中断。“明天启（1621～1627年）间，监司朱家民拟建桥而不可以石，乃彷澜沧之制，冶铁为絙三十有六，长数百丈，贯两崖之石而悬之，覆以板。类于蜀之栈而道始通。”田雯，康熙甲辰（1664年）进士，官至户部侍郎。

清靖道谟等编《云南通志》卷六“津梁·永昌府”载：“霁红桥在城北八十里，跨澜沧江，蜀汉武侯南征始架木桥……明洪武中，镇抚华岳铸二铁柱于石以维舟。成化中，僧了然募化建桥，以铁索系两岸上，盖以板。”

5．铁画的出现

铁画是以含碳量较低的铁碳合金为原料，通过锻打、焊接、退火、烘漆等工序制作出来的铁质工艺品。其融丹青水墨画技法，以及民间剪纸、雕塑等技艺于一身，获得了立体水墨画的效果。

今见最早的铁画类工艺品是武当山紫霄宫大殿内玉帝御前陈放的一对铁蜡台，





属明代中期；其状如“铁树开花”，高2.7米，由树根、树干、树枝和盛开的花朵组成；树干上盘踞一条铁龙；花朵由多层铁片锻、焊、剪切而成；各焊接处皆平滑光洁，无接茬锻痕。铁质条幅上留有大段文字，至今依然清晰可辨：“新安歙县岩石镇信士汪虎关备资打造铁腊台一对，送献武当山大岳紫霄宫玉帝御前永远供奉。弦（弘）治辛酉上元之吉打造人路永和，米庄人吴存。”可见，此铁蜡台是明弘治十四年（辛酉，1501年）正月十五日进献的[26]。清代之后，铁画技术获得了进一步的发展。

（二）青铜锣钹锻打技术

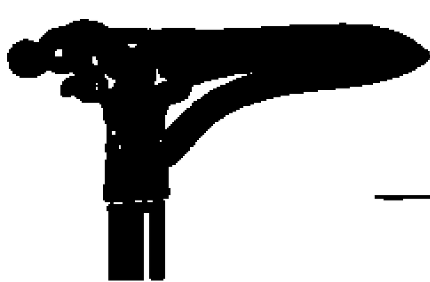
我国古代的青铜锻件较少，先秦时期主要是青铜甲、刻文和非刻文的薄壁铜器等，汉、唐之后除薄壁铜器外，还有锣钹一类响器。这响器也是在我国沿用时间较长、技术成就较高的青铜锻件。锣钹在我国使用较早，但有关其加工技术的记载却是到了明代才看到的。

宋应星《天工开物》卷一〇“锤锻·治铜”条载：“凡锤乐器：锤钲(俗名锣)不事先铸，熔团即锤；锤镯(俗名铜鼓)与丁宁，则先铸成圆片，然后受锤。凡锤钲、镯，皆铺团于地面。巨者众共挥力，由小阔开，就身起弦，声俱从冷锤点发。其铜鼓中间突(凸)起隆炮(泡)，而后冷锤开声。声分雌与雄，则在分厘起伏之妙。重数锤者，其声为雄。凡铜经锤之后，色成哑白，受锉复显黄光。经锤折耗，铁损其十者，铜只去其一。气腥而色美，故锤工亦贵重铁工一等云。”这里系统地介绍了锣钹加工的全过程。主要工艺程序是：（1）配置合金成分。前面谈到，锣钹类响铜的成分是：铜八斤锡二斤。（2）热锻。（3）冷锻。可提高材料强度，致密组织，并获得较为光洁和坚硬的表面，同时可改善音质。《物理小识》卷七“金石·冷锤”：“冷锤者，其质更坚。”在此要说明的是，锣钹冷锻前应有一道淬火，这是十分重要的工序，可能是宋应星遗漏了。淬火的目的是为了将塑性较好的高温相(β)保留下来，便于冷锤定音。不淬火，是不能冷锻的。

（三）黄铜锻打技术的发展

《天工开物》卷一四“五金·铜”：“凡红铜升黄色为锤锻用者，用自风煤炭(原注：此煤碎如粉，泥糊作饼，不用鼓风，通红则自昼达夜。江西则产袁郡及新喻邑）百斤灼于炉内，以泥瓦罐载铜十斤，继入炉甘石六斤，坐于炉内，自然熔化。后人因炉甘石烟洪飞损，改用倭铅。每红铜六斤，入倭铅四斤，先后入罐熔化，冷定取出，即成黄铜，唯人打造。”这里谈到了加工黄铜的配比和熔炼方法，入细入微，是我国古代关于黄铜锻打的较早记载。操作要点是：（1）须用自风煤为燃料，目的是不用鼓风，以减少熔化温度过高而造成的锌烧损。（2）因炉甘石烟洪飞损，最好是直接使用倭铅与红铜配合，以减少熔炼时间。（3）物料配比为红铜六斤，倭铅四斤。从现代材料学看，黄铜含锌量为30%～32%时，塑性最好，延伸率高达58%。依四六比配入，经烧损后，便大体处于这一范围。可见，这是一套较为合理的工艺。“唯人打造”一语说明，人们对加工黄铜合金成分选择已有较深认识。

同书卷一〇“锤锻·治铜”还谈到了黄铜加工的技术要点：“凡黄铜，原从炉甘石升者，不退火性受锤；从倭铅升者，出炉退火性，以受冷锤。”这是明代黄铜





加工的重要技术成果，其与现代技术原理是基本相符的。“原从炉甘石升者”，倭铅烧损较多，加工前无须退火；“从倭铅升者”，合金含锌量较高，加工前须先行退火。此退火的目的，是消除枝晶偏析和高锌 α－黄铜在非平衡结晶时出现的少量 β 相，进一步改善室温塑性。

（四）刃部嵌钢技术的发展

刃部嵌钢是我国古代金属复合材料技术的重要工艺，其又有包钢、夹钢、贴钢 3 种不同操作，这都是令刀剑既锋利又不易折断的重要措施，其在明代大约都有使用。

《天工开物》卷一〇“锤锻·斤斧”载：“刀剑绝美者以百炼钢包果(裹)其外，其中仍用无钢铁为骨；若非钢表铁里，则劲力所施，即成折断。其次寻常刀剑斧，止嵌钢于其面。即重价宝刀，可斩钉截铁者，经数千遭磨砺，则钢尽而铁现也……凡健刀斧，皆嵌钢、包钢整齐，而后入水淬之。”此“百炼钢包裹其外”者，即是“包钢”工艺，其内层为铁，外表为钢。“寻常刀剑斧，止嵌钢于其面”，可能是指“贴钢”工艺；“于其面”三字十分重要。“嵌钢”，大约指夹钢；嵌，原有嵌入之意。此外，同书同卷“锤锻·凿”条载：“凡凿，熟铁锻成，嵌钢于口”。《武备志》卷一〇四载：“腰刀造法，铁要多炼，刃用纯钢。”都说到了金属复合材料技术。此三种操作中，“包钢”最为讲究，今已很少看到；“夹钢”使用最广，今在民间仍广为流传。日本刀亦采用“包钢”。

（五）拉拔技术的发展

明代的铜铁拉拔技术都得到了较大的发展，当时的浙江、山西、广东等地都有了铁丝生产，产品种类亦迅速增加。

《嘉靖浙江通志》卷一七“贡赋”载，在杭州府赋税中，有“粗细铜丝各八十斤，粗细铁线各五百三十二斤，铁条五百三十八斤，针条一百一十一斤”[27]。这里谈到了粗细铜丝和粗细铁丝，这不同材质、不同型号的拉拔产品，说明杭州府铜铁拉拔生产已具有相当规模。

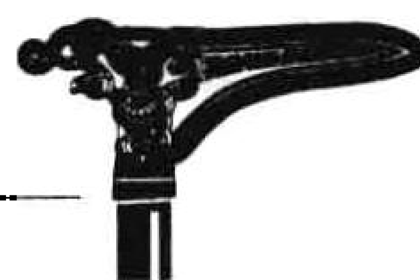
唐顺之（1507～1560 年）《武编》“前集”（成书于 1559 年）卷五“铁”条：“泽潞出铁，上等铁，丝铁，如黄豆大，长丈余，用工最多；次等铁，条铗，中凿三眼；三等，手指铁，凿五条纹。”显然，此“丝铁”系拉拔而成。同书接着还说到了广东铁丝：“广东条铁，今人用抽铁丝，造大器不用。”可见当时山西、广东等地都有铁的抽丝生产。

十分难得的是，明《天工开物》卷一〇“锤锻·针”条还详述了拉拔制针的整个工艺过程，云：“凡针，先锤铁为细条，用铁尺一根，锥成线眼，抽过条铁成线。逐寸剪断为针。先锉其末成颖，用小槌敲扁其本，刚(钢)锥穿鼻，复锉其外，然后入釜，慢火炒熬”。(图 8－2－7）炒熬的目的即是渗碳，之后淬火。此铁线必须通过“线眼”，其工艺原理与现代拉拔生产基本上是一致的。

（六）焊接技术的发展

明代的焊接技术又发展到了一个新的阶段，文献记载明显增多，出现了多种不同的焊料配方及操作工艺，铜焊内容亦有了扩展，并有了银焊的记载。

明宋应星《天工开物》卷一〇“锤锻·治铁”条：“凡焊铁之法，西洋诸国别有奇



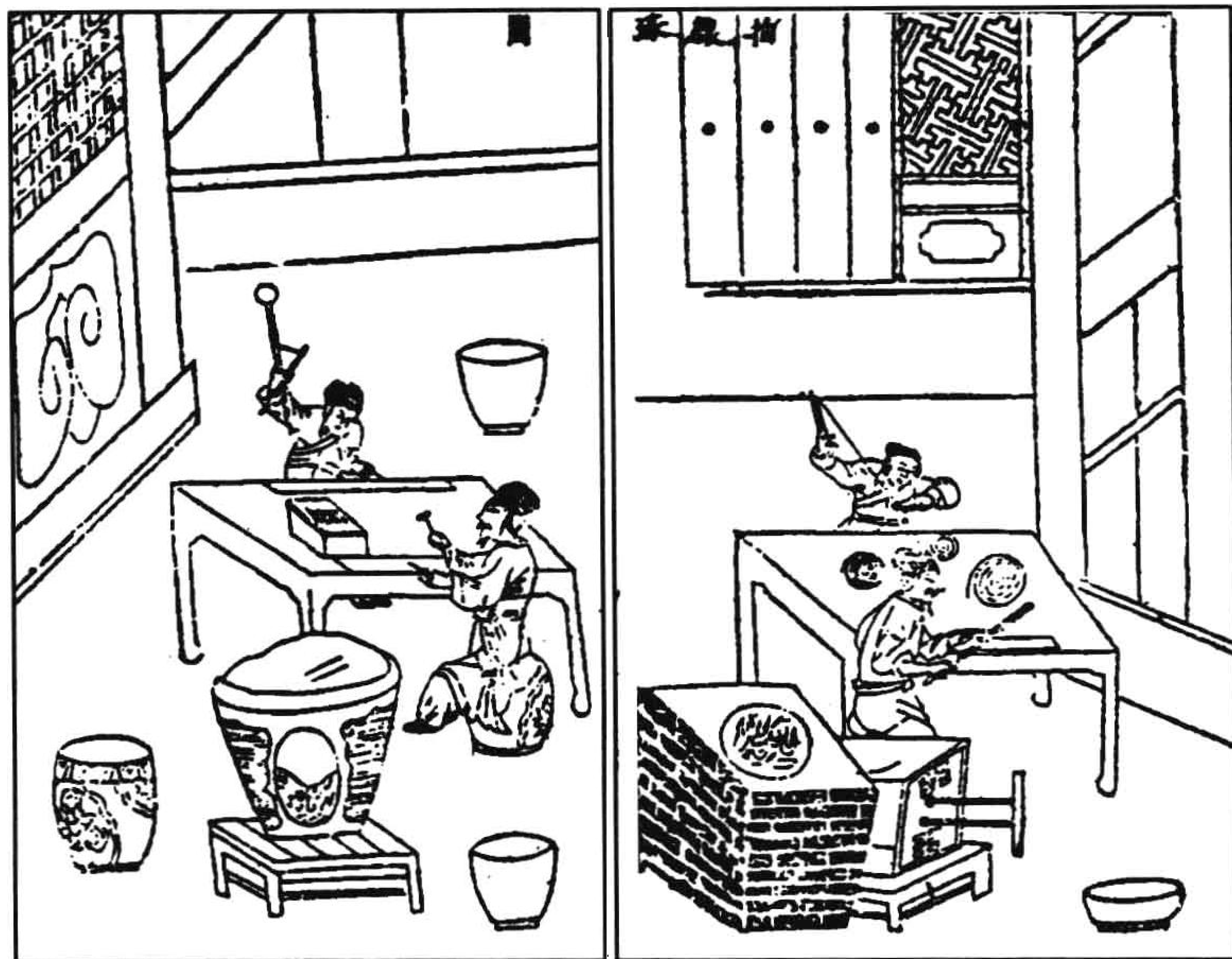


图 8－2－7　《天工开物》所载“抽线琢针图”

药，中华小焊用白铜末，大焊则竭力挥锤而强合之。”此焊料为白铜，当亦铜砷合金。因《天工开物》一书只提到了砷白铜，而未提镍白铜，更未将高锡青铜称为白铜。

同书同卷“治铜”条：“用锡末者为小焊，用响铜末者为大焊（原注：碎铜为末，用饭粘和打，入水洗去饭，铜末具存，不然则撒散）。若焊银器，则用红铜末。”此焊料有锡、响铜、红铜。此“小焊”对焊口强度要求稍低，“大焊”对焊料强度要求稍高。

《物理小识》卷七“金石类·锻缝”条简要地引述了《天工开物·治铜》关于焊接的内容，最后总结道：“皆兼硼砂”。即不管大焊小焊，铜焊锡焊，皆须以硼砂为焊接熔剂。同条接着又说：“巧焊金玉用银末，如玉柄铁刀之类。”此即银焊，以银基合金为焊料。

《物理小识》卷七“金石类·汗药”条载：“汗药，以硼砂合铜为之。若以胡桐泪合银，坚如石；今玉石刀柄之类汗药，加银一分其中，则永坚不脱。”此前两句说的是铜焊，焊接熔剂是硼砂，第三句以下说的是胡桐泪与银合成的“汗药”，具体操作不明，或与银焊相当。

（七）关于宣德炉工艺

“宣德炉”是明宣德三年（1428 年），由明宣宗朱瞻圣谕，由工部制作的一批鼎彝器的代称。它从合金成分选择，到铸造和表面处理技术，都表现了高超的技艺，其中又以其“发于内露于外”的珠光宝色最为难得（彩版叁，1）[28]。数百年来，其一直受到世人推崇，是汉后铜器技术的又一杰出成就。

《宣德鼎彝谱》卷一、卷二记载了工部呈进御览的第一批鼎彝器的“用料疏”，其金属料计有风磨铜、倭源白水铅、倭源黑水铅、生红铜、锡等 5 种。此“风磨铜”即黄铜，是铸造宣德炉的主要原料。“贺兰花洋斗锡”即金属锡，“日本生红

铜”也即普通红铜，都是用来调剂合金成分和铸造性能的辅助性材料。其中的“倭源白水铅”和“倭源黑水铅”到底为何物，则是十分费解，学术界也有不同看法。笔者倾向于“倭源白水铅”是锌、“倭源黑水铅”是铅的观点，因金属在反复精炼过程中要造成大量烧损，此二者便是分别用来弥补锌、铅烧损的。宣德鼎彝器属于黄铜是可以肯定的，但其具体成分则难得详知。由前引大量文献记载来看，明代黄铜器多为“三七黄铜”或“四六黄铜”，因文献上皆说宣炉色泽艳丽，故我们推测当以四六黄铜可能性最大。

宣炉的熔炼十分讲究，通常都要反复多次。《宣德鼎彝谱》卷六所载诸器有“五炼”、“六炼”、“八炼”、“十炼”、“十二炼”等说。天启年间项子京的《宣炉博论》云：“昔闻一老中贵言，宣庙当铸冶之时，问工匠曰：‘炼铜何法，遂至精美？’工奏云：‘凡铜经炼至六，则现珠光宝色，有若良金矣。’宣庙遂敕工匠炼必十二，每斤得其精者才四两耳，故其所铸鼎彝，特为美妙云。”可见，宣炉之铜是经过了多次熔炼，及至“十炼”、“十二炼”的。

1925年，王琎分析过两枚铜器合金成分，其中一件颜色较深，原称为“黄铜”，成分为：铜52.7%、锌20.4%、铁12.1%、锡4.4%、铅2.3%；另一件颜色较浅，原称为“白铜”者，成分为：铜48.0%、锌36.4%、铁2.3%、锡2.7%、铅3.7%[29]。此二器原是当作宣炉来研究的，但其来源无考，“真”、“假”难分辨。值得注意的是：其中都含有一定的铁和铅，它们在宣炉用料呈册中皆无著录；我们认为不管“十二炼”还是五炼、六炼，都不应当含有多量的铁。依此，我们认为此二器皆非真“宣”，尤其颜色较深者，含铁量高达12.1%，肯定会影响到炉体光泽和美观的。

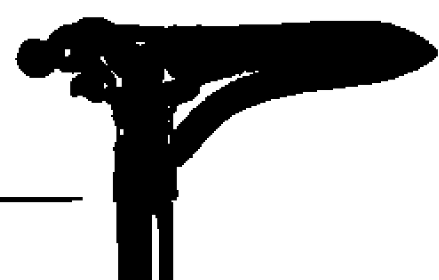
宣德鼎彝器工艺中，最为出色的是表面处理技术。项子京《宣炉博论》赞道：“宝色内涵，珠光外现，淡淡穆穆，而玉毫金粟，隐跃于肤理之间。”

从《宣德鼎彝谱》的记载来看，宣炉表面的底色主要有3种：（1）本色。若为四六黄铜，则其色类金，灿烂辉煌。（2）镀金镀银，其中有全镀和局部镀之别。全镀即文献中说的“赤金纯裹”、“白银纯裹”；局部镀则又有“覆祥云”、“涌祥云”之别。（3）仿古诸色。如青绿色、蜡茶色、深蜡茶色、蜡茶本色；棠梨色、棠梨本色；藏经纸色、淡藏经纸色、深藏经纸色；枣红色、青瓷色等。《宣炉博论》说：“凡宣炉本色有三种，流金仙桃色，一也；秋葵花色，二也；栗壳色，三也。而仙桃色为最，秋葵花色次之，栗壳色则又次之耳。”在本色、鎏金、仿古诸色地上，都可镶金镶银，其中最令后人赞叹的是纯仿古诸色。对这诸色仿古的具体工艺，《宣德鼎彝谱》未作详细说明，“用料疏”中虽留下了许多原料的名称、数量和用途，但令人很难从中了解到诸仿古配方和操作过程。有一种观点认为，宣炉表面形成了珐琅质[30]，但须待进一步研究来证实。

（八）镔铁技术的发展

镔铁于南北朝时传入我国，之后历代文献都曾提及，但关于镔铁花纹较为清楚的记载，却也是到了明代才看到的。

明曹昭《格古要论》卷中载：“镔铁出西蕃，面上有旋螺花者，有芝麻雪花者，凡刀剑器打磨光净，用金丝矾矾之，其花则见，价值过于银。古云：识铁强



如识金，假造者是黑花，宜仔细看验。刀子有三绝：大金水总管刀，一也；西蕃鸿鹕木靶，二也；鞑靼鞣皮鞘，三也。尝有镔铁剪刀一把，制作极巧，外面起花镀金，里面嵌银回回字者。"[31]这里谈到了镔铁的花纹和镔铁剪的形态。花纹计有旋螺花、芝麻雪花、嵌银回回字等。金丝矾，大约是黄矾，即硫酸铁的十水化合物 $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$，是显示花纹的腐蚀剂[32]。这是我国古代文献关于镔铁花纹最为详细的记载。稍后，明周履靖《夷门广牍》[33]、方以智《物理小识》等都曾引用。镔铁主要有两项优良性能：一是具有花纹，即如明曹昭所云；二是十分锋利，如前引唐慧琳所云。

除《格古要论》外，其他明代文献也常提到镔铁剪。如文震亨《长物志》卷七说："有宾铁剪刀，外面起花镀金，内嵌回回字者，制作极巧。"明屠隆《考槃余事》卷四："剪刀，有宾铁剪刀，制作极巧，外面起花镀金，里面嵌回回字者，如潘(蕃)铁所遗倭制摺叠剪刀，古所未有，有则宝之，后世必有好尚之者。"

明时，边境的吐鲁番火州，山西的废云内州等地都曾土贡或生产镔铁。重修《明会典》卷一〇七载，吐鲁番火州、柳陈城"贡物"有："马、驼、玉石、镔铁刀、镔铁锉、各色靶小刀、金刚钻、梧桐鹻、羚羊角……"《大明一统志》卷八九说，火州、哈密卫土产镔铁。同书卷二一"大同府·土产"条说，山西废云内州（今右玉县治）出有"青镔铁"。火州、柳陈城、废云内州土贡镔铁，可见其产量是不小的，这很可能是仿照波斯或罽宾工艺在本地制作的。

镔铁于北魏时期传入我国，最初大约主要是外域生产的；至迟宋代，边境民族也有了生产，元时朝廷设局制造；它与我国传统的花纹钢技术互相弥补，共同发展，对人们的生产和生活都产生过不少积极的影响，是中外技术交流的一个较好例证。

**十一、热处理技术的多项成就**

明代金属热处理取得了多项成就，钢铁和有色金属之淬火、退火都运用得更为纯熟，回火技术也有了明确记载；化学热处理有了长足进步，发明了名为"生铁淋口"的特殊化学热处理工艺；针的消除应力退火、锉的再结晶退火、黄铜的组织均匀化退火等，都反映了高超的技艺。这些都在较大程度上满足了农业、手工业工具的多方面需要[34]。由于可锻铁技术的进一步发展，铸铁可锻化退火处理不复再现。

（一）淬火和退火技术

我国古代的金属淬火技术至迟发明于春秋晚期，战国中晚期便有了较大发展，并较快地用到了青铜和钢铁器物中；汉后进一步推广开来，南北朝发明了油淬；及明，淬火剂种类又有了增加，人们的认识也有了一定提高。

《天工开物》卷一〇"锤锻"曾多处谈到淬火，其"治铁"条云："凡熟铁、钢铁已经炉锤，水火未济，其质未坚。乘其出火之时，入清水淬之，名曰健钢、健铁。言乎未健之时，为钢为铁弱性犹存也。"此较好地说明了淬火的基本操作及其对钢铁性能的影响。"未济"，即八卦中的未济卦。健，即强健；明人又称"淬火"为"健钢、健铁"。同卷"斤斧"、"锄镈"、"锉"、"针"条也谈到过淬火，这在较大程度上说明了这一技术广泛使用的情况。

《物理小识》卷七"铁"条方中通"注"等还谈到过鉴别淬火质量的一些方

法："烧淬刀口，色白再烘之，为喜鹊青乃刚。"此"喜鹊青"，与宋沈括所说湛卢剑"湛湛然黑色也"，应是一个意思。

不同的淬火剂，其淬透性是不尽相同的，对此，古人一直都有较为清醒的认识。李时珍《本草纲目》卷五"水·流水·集解"载："观浊水流水之鱼，与清水止水之鱼，性色迥别，淬剑染帛，色各不同，煮粥烹茶，味亦有异。"

用地溲淬火的记载约始见于元，及明，卢若腾《岛居随录》卷下、《本草纲目》卷九"石部·石脑油"、《天工开物》卷一四"五金·铁"、《物理小识》卷八等都曾谈及，所述多与《格物麤谈》相类；唯《物理小识》卷八"器用类·淬刀法"内容较为丰富，除地溲外，它还谈到了多种淬火剂："山间水出而殷者曰绣水。淬刀刻玉，地溲也。一曰虎骨朴硝酱，刀成之后，火赤而屡淬之。"此"绣水"，当即锈水，是一种含有铁氧化物之水。"地溲"如前所云。"虎骨、朴硝、酱"，为含碳、含氮物质，酱内还含食盐；因淬火停留的时间是很短的，故这些混合物便只能起到淬火剂的作用。

明代青铜器使用量已经较少，但关于青铜淬火的记载却更为明确。李时珍《本草纲目》卷八"金石·锡铜镜鼻"条说："锡铜相和，得水浇之极硬，故铸镜用之。"方以智《物理小识》卷八"铸法"载："锡铜相和，得水浇之极坚。"这充分反映了人们对青铜淬火、铜镜淬火的重视和它留在人们心目中的深刻记忆。

明代对退火技术的利用已十分熟练，不管钢铁器，还是铜器，不管是加工过程中，还是加工终了，不管消除应力退火，还是组织均匀化退火和再结晶退火，都能视需要而作出适当的处理。前云拉拔制针，入釜渗碳时先作"慢火炒熬"，便是消除应力退火；前云倭铅配制的黄铜，须"出炉退火性"，之后才能锻打，这是组织均匀化退火。另外，《天工开物》卷一〇"锤锻·锉"条说，锉若因"久用乖平"，便"入火退去健性，再用錾划"。此便是再结晶退火。锉在制作过程中需经淬火，组织中当有马氏体，退火后便可回复到珠光体。

（二）化学热处理

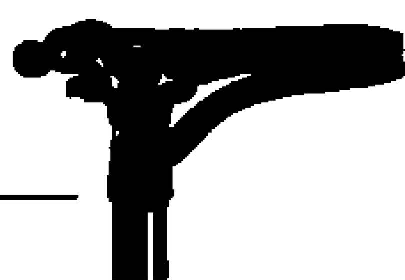
我国古代的化学热处理约发明于战国时期，当时主要是表面渗碳。明、清时期，化学热处理技术有了进一步发展，且出现了碳氮共渗，即氰化处理。

明、清渗碳法的主要成就是使用了"釜式"渗碳法。本节"炼钢"部分曾引《天工开物》卷一〇"锤锻·针"条所述渗碳制针工艺，那即是一种渗碳钢工艺。其实，渗碳钢之渗碳，化学热处理之渗碳，技术原理是一样的；唯针作了整体渗碳，故将之当作"制钢"法；如若只作表面或局部处理，便属化学热处理范围。自然，我们并不能排除明人曾用这种"釜式"渗碳法作局部或表面处理的可能性。

此期渗碳技术的另一成就是使用了一种膏状渗碳剂，其始见于明代初期，之后许多文献都有记载。

刘基《多能鄙事》卷五"钢铁法"载："羊角乱发，煅过细研，水调傅刀口，烧红磨（淬）之。"此羊角、乱发，皆为含碳物质，如若保温时间较长，自然可起到渗碳作用。明邝璠《便民图纂》卷一六"制造类下·点铁为钢"条、《古今秘苑》卷一二"点钢法"条等，都有大体一致的说法。

前引唐顺之《武编》"前集"卷五"铁"条所说，用"羊角煅灰、粉心水提



过、酸酸草烧灰、硝、酱”来调涂刀身，这也是一种表面渗碳，目的是使刀身呈现花纹。接着，唐顺之还说了一种局部或表面渗碳法，“刀方：羊角、铁石、硇沙”。此铁石作用不明，羊角含碳，硇砂含氮，当为碳氮共渗。这是较早提到碳氮共渗的地方。《武备志》卷一〇五亦曾引用过这一内容。

宋应星《天工开物》卷一〇“锤锻·锉”条也说到过渗碳法，“划锉纹时，用羊角末和盐醋先涂”。其中提到的醋，也是含碳物质，自然可起到渗碳，及催渗的作用。

《物理小识》卷八“器用类·淬刀法”所说内容更为丰富：“一曰虎骨朴硝酱，刀成之后，火赤而屡淬之。一以酱同硝涂錾口，煅赤淬水。一以羊角乳（乱）发为末，调傅刀口，不必蟾酥涂而自然灰埋也。”此“蟾酥”即蛤蟆皮下的白汁，有毒。“自然灰”的成分不甚了解，《南州异物志》、《本草拾遗》等都有解释。值得注意的是这里还提到了硝，这是含氮物质，或可起到碳、氮共渗的作用。

（三）生铁淋口技术

依渗碳剂形态之不同，我国古代金属表面处理工艺约有三种类型：即固态渗碳法、凝膏渗碳法、液态渗碳法。前述“釜式”渗碳制针法属第一种，在刀口刀身上调涂各种含碳含氮物质的属第二种，此生铁淋口则属第三种。生铁淋口是我国古代特有的表面处理工艺。约始见于明，据笔者调查，直到20世纪七八十年代，还在我国浙江、河北等地流传。

《天工开物》卷一〇“锻锤·锄镈”条载：“凡治地生物，用锄镈之属，熟铁锻成，熔化生铁淋口，入水淬健，即成刚劲。每锹、锄重一斤者，淋生铁三钱为率，少则不坚，多则过刚而折。”古代“熟铁”的含碳量大抵与现代可锻铁相当，此“熟铁”可作锄，且可用于生铁淋口，约与现代低碳钢相当。此云操作要点是：以生铁水为渗碳剂，将之浇淋到锄镈的表面，令碳分渗入，之后锻打、淬火。从传统技术调查来看，生铁浇淋的部分通常是锄镈的上表面，锄镈使用过程中便可起到自然磨刃的作用，越用越锋利。这类工件的刃部组织应当是：最上层为生铁，依次为过共析、共析、亚共析钢，中心和下表面为器件基体组织[35]。

上述三种表面渗碳工艺中，“釜式”渗碳法适用范围较宽，既可加工稍大的工件，也可加工针一样的小件；可作整体渗碳，也可作局部和表面渗碳，近现代仍在我国农村广为流传，常用来处理一些农具和手工业工具[36]。“凝膏”渗碳法主要用在各类刀具上，用作刀花，及刃部渗碳和氮化，近现代所见较少。生铁淋口主要用来处理锄镈类农具的刃口[35]。

## 第三节　以景德镇为中心的明代制瓷技术

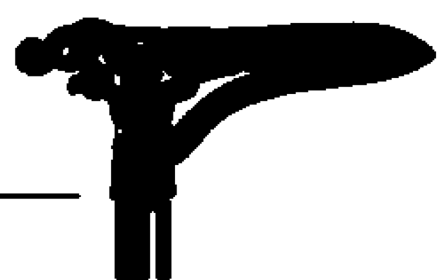
我国古代制瓷技术发展的大致历程是：东汉时期，青瓷技术首先在南方发展起来；魏晋南北朝时期，青瓷在南方又有了发展，北方亦烧出了瓷器，并烧制了白瓷；隋唐时期，出现了“南青北白”的局面；宋代，制瓷技术在南北普遍发展的基础上形成了“六大窑系”；元代，景德镇瓷器开始显现，并呈现与多个窑系并列的局面；明代制瓷业的一个基本特点便是“一个中心”，即瓷都景德镇的出现。景德镇瓷业约始于五代，及明，不管生产规模还是生产技术，在全国都占据了主

导的地位，其瓷器不但产量大、品种多，而且质量好、销路广。它既生产了大量的日用器，又生产了大量的宫廷御用品和朝廷内外赏赐、交换的全部官用器，从而满足了国内外各方面的需要。宋应星《天工开物》卷七“陶埏·白瓷”条说，全国瓷器“合并数郡，不敌江西饶郡产……中华四裔，驰名猎取者，皆饶郡浮梁景德镇之产也”。

景德镇的瓷都地位，是由多方面因素决定的，归结起来至少与下列三方面有关。(1) 优越的自然条件。其位于江河交汇处，四面环山，交通便利，具有丰富的粉碎瓷土的水力资源。明代的浮梁县境，及附近的婺源等地都蕴藏有丰富的制瓷原料。(2) 较好的技术背景。早在宋代，景德镇瓷器便开始崭露头角；及元，由于青花、釉里红、铜红釉、钴蓝釉、卵白釉的成功烧制，为其明代彩瓷和单色釉的发展准备了较好技术条件。(3) 较好的机遇。入明之后，由于多种原因，景德镇以外的南北各大窑场日趋衰落。钧窑系的各种产品几乎全部停止，龙泉青瓷、磁州白瓷在一个时期内虽仍大量烧造，但技术上无法与景德镇匹敌，明代中期之后亦逐渐衰退，使一些具有特殊技能的优秀工匠汇集景德镇。

景德镇瓷业有官营、民营两种。前者即是御器厂，其设置年代史籍中曾有洪武二年和建文四年两种说法[1]。初设之时有20窑，宣德时增至58窑。《景德镇陶录》卷一“图说·御窑厂图”载，官窑有6种类型，即青窑、龙缸窑、风火窑、色窑（原注：烧炼颜色者）、爁熿窑（窑制大小不一，厂坯上釉用火爁烘，有漏泑者再上泑，入窑烧）、匣窑（原注：厂匣皆先空烧，再装坯烧）。但真正烧瓷器的大约只有缸窑和青窑两种。其中缸窑30余座，是专烧缸类的，青窑烧小件瓷器，色窑专烧颜色釉。重修《明会典》卷一九四载，宣德八年（1433年），宦官张善任督陶官，曾往饶州烧造各种瓷器443 500件。《明英宗实录》载，天顺三年（1459年）光禄寺原奏请江西饶州烧造瓷器133 000余件，“工部以饶州民艰难，奏减八万”。《江西大志·陶书·御供》详列了景德镇官窑供御的情况，嘉靖七年以前案毁不可考，从嘉靖八年(1529年)一直列到了三十八年，总的趋势是其数量不断增加。如：八年烧造“磁器”2570件；十年烧造“磁碟”、“钟(盅)”11 000件，碗1 000件，爵300件；十三年烧造青花白地瓯碗3 000件、紫色碟1 000件、紫色碗500件；二十年各种白地青花碗、碟、钟(盅)27 300件，二十三年各种“磁器”70 950件，二十五年各种“磁器”103 200件……二十六年120 260件，三十一年44 780件，三十三年100 030件[2]。嘉靖、万历间，经常每年要进贡各种瓷器10万件以上。

此述《江西大志》中的“磁”即是瓷，直至明、清，人们依然是经常借“磁”为“瓷”，称瓷器为“磁器”的。“瓷”字约始见于西晋时期，至唐，此名便在社会上流行开来，但同时也出现了“瓷”的多个异体字和假借字，习见有“甆”（见《玉篇》)、“甆”（见宋赵汝适《诸蕃志》)、“兹”（见唐皮日休《茶瓯》)、“磁”（见宋叶寘《坦斋笔衡》、元汪大渊《岛夷志略》、明曹昭《格古要论》）等。在这些异体字和假借字中，沿用时间较长，使用得较多的是“磁”字，北京崇文门外至今还保留有“磁器口”的地名。但对于以“磁”称“瓷”的缘由，学术界是有过不同看法的。一认为“磁器”之名源于磁州窑，此说以明谢肇



淛、清蓝浦为代表，谢肇淛《五杂俎》卷一二云："今俗语窑器，谓之磁器者，盖河南磁州窑最多，故相沿名之，如银称朱提，墨称隃糜之类也。"蓝浦《景德镇陶录》卷八"陶说杂篇上"："磁、瓷字不可通，瓷乃陶之坚致者，其土埴壤。磁，实石名，出古邯郸地今磁州，州有陶以磁石制泥为坯烧成，故曰磁器。非是处陶瓷皆称磁也。"二认为称瓷器为"磁器"与磁州无关，此说以清俞樾为代表，其在《茶香室丛钞·四钞》卷二七"窑器称磁之误"中认为：由《玉篇》的注释来看，称瓷器为"磁器"，"不因磁州"，"后人以同声之磁字代之耳"。我们比较倾向于俞樾的说法。有一点需要补充的是：依《宋史》卷八六"地理志"所云，"磁州"之名始于宋政和三年（1113年），而唐皮日休诗中便用了"兹器"一名，显然，"磁"与"兹"都是"瓷"的同音假借字。

景德镇民营瓷业约勃兴于明代后期。明万历（1573~1620年）时王世懋《二委酉谭》记录当时景德镇的繁荣景象时说："天下窑器所聚，其民繁富，甲于一省。余尝以分守督运至其地，万杵之声殷地，火光烛天，夜令人不能寝。戏目（呼）之曰'四时雷电镇'。"《天工开物》卷七载，景德镇制瓷过程分工较细，计有舂土、澄泥、造坯、汶水、过利、打圈、字画、喷水、过锈、装匣、满窑、烘烧等工序。"共计一杯工力，过手七十二，方克成器"[3]。民窑的生产量也较大，正统元年（1436年），浮梁县民陆子顺一次就向北京宫廷进贡5万余件瓷器[4]。

虽景德镇民窑亦较发达，但官窑一直占据着特殊的地位，并对民窑产生了较大的限制和破坏，这主要表现在三个方面：（1）官窑在较大程度上垄断了技术较为熟练的工匠。（2）垄断了优质瓷土、青料、釉料等。（3）对民窑产品的品种作了种种限制。（4）用"官搭民烧"的办法对民窑进行盘利[5]。

明代制瓷技术的重大成就，大部分是在景德镇取得的，较为重要的有：景德镇瓷胎的"二元配方"法开始确立，胎中 $Al_2O_3$ 量较宋代、元代都明显提高；创造了薄胎瓷器；石灰—碱釉进一步确立；釉下青花器普遍发展起来，它不但是景德镇，而且成了全国瓷器生产的主流；在低温釉基础上发展起来的各种釉上彩达到了比较成熟的阶段；创立了釉下青花和釉上多彩相结合的新工艺；单色釉技术有了较大提高，尤其是永乐、宣德时期的铜红釉，充分显示了明代窑工的高超技艺。除江西景德镇外，福建德化的象牙白、山西晋南的法华三彩、江苏宜兴的紫砂器等，也达到了较高水平，景德镇法华三彩采用牙硝为助熔剂是一项重要贡献。明代还发明了阶级式龙窑，为提高热利用率，提高产品质量，创造了良好的条件。

**一、制胎技术的发展**

（一）胎料选择

北方窑口大凡一直是采用单一瓷土的，及至明代，南方的多数窑口大体依然是这样，直到明代才有了变化。

明宋应星《天工开物》卷七"陶埏·白瓷"云，景德镇"不产白土。土出婺源、祁门两山：一名高梁山，出粳米土，其性坚硬；一名开化山，出糯米土，其性粢软；两土和合，瓷器方成。其土作成方块，小舟运至镇"。婺源，在景德镇东；祁门县，在景德镇东北，属安徽。高梁山，即高岭[6]，实属浮梁乡。"开化山"即祁门开化山，即祁山。这里主要谈了三个问题，（1）景德镇瓷胎所用瓷土，

主要来自祁门开化山；所用高岭土，主要来自浮梁东乡的高岭，即所谓高梁山。(2) 瓷土性软，高岭土性硬。(3) 瓷器需两土混合方能成器。这是我国古代文献中，较早地明确谈到二元配方处，此项技术的发明期似乎更早一些。祁门高硅低铝土，高梁高铝低硅土，明人皆谓之制瓷“白土”。从现代分析资料看，此所谓软、硬，主要是含铝量不同之故。经分析，粒度小于 1 微米的祁门瓷土成分为：$SiO_2$ 50.24%、$Al_2O_3$ 29.87%、$Fe_2O_3$ 1.03%、$K_2O$ 8.11%、$Na_2O$ 0.68%[7]。而淘洗后的明砂高岭精泥成分为：$SiO_2$ 47.69%、$Al_2O_3$ 36.01%、$Fe_2O_3$ 0.99%、$K_2O$ 2.51%[8]。可见祁门瓷土与高岭的含铝量是相差不小的。景德镇瓷胎二元配方的使用，加宽了烧成温度范围，为提高瓷器产量和质量，为薄胎、脱胎瓷器的出现打下了良好的基础。

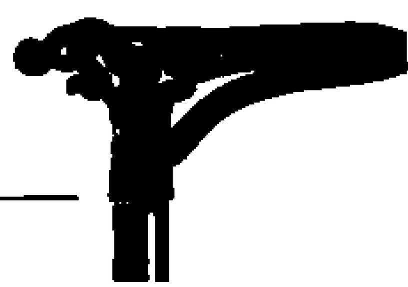
景德镇所用瓷土，原本是产于浮梁县的；至祁门开化，已是三易其地。朱琰《陶说》卷一云：“饶窑陶土，初采于浮梁新正都麻仓山。万历时，麻仓土竭，复采于县境内吴门托；至祁门，而三易其地矣。”卷三“说明·造法”条说得更为详细：“陶土，出浮梁新正都麻仓山，曰千户坑，曰龙坑坞，曰高路坡，曰低路坡。土埴垆，均有青黑界道，洒洒若糖点，莹若白玉，闪烁若金星者为上土……万历间，坑深膏竭……其后因县境内吴门托新土有糖点如麻仓者，尤佳……造龙缸用余干婺源土及石末、坏屑，参和为之。”这里除谈到景德镇瓷土采取地的变更情况外，还谈到了制作龙缸时须使用旧料。使用“旧料”也是我国古代陶范技术和制陶技术的一项重要配料措施。此书首刊于乾隆三十九年。

高岭土的主要矿物成分是：高岭石，占60%～80%；水白云母（绢云母）和长石，占20%～40%；石英，约占5%。瓷土成分还与产地有关，有的高岭化程度较高，主要组成是高岭石、绢云母和石英，所含长石较少；有的高岭化程度较低，甚至不含高岭石，而含有较多的长石（可达20%）、绢云母和石英。高岭土的配入，烧成温度的提高，窑具及窑炉随之改进，成了景德镇制瓷技术的一个转折。

从分析资料看，明代景德镇和龙泉瓷胎的含铝量，大体都保持在元代以来的稍高水平上，但福建德化窑、云南玉溪窑等却依然沿用高硅操作。

有学者分析过 8 件明景德镇瓷胎成分[9]，包括 6 件青花瓷、1 件黄釉瓷、1 件五彩瓷，分属明代早、中、晚三期。平均成分为：$SiO_2$ 72.24%（68.3%～74.0%）；$Al_2O_3$ 21.25%（18.9%～25.61%）；$Fe_2O_3$ 1.03%（0.9%～1.25%）；$TiO_2$ 0.075%、$K_2O$ 3.1%、$Na_2O$ 1.33%。与元代相比较，含铝量稍有提高，含铁量却有些回升。人们又分析过 5 件明代龙泉青瓷胎化学成分[10][11]，平均值为：$SiO_2$ 71.22%（68.5%～73.08%）、$Al_2O_3$ 20.14%（18.9%～21.5%）、$Fe_2O_3$ 2.0%（1.63%～3.05%）、$TiO_2$ 0.13%、$K_2O$ 5.11%、$Na_2O$ 0.43%。可见，景德镇瓷器 $Al_2O_3$ 量较之稍高，着色剂 $Fe_2O_3$、$TiO_2$ 却较之稍低，熔剂 $K_2O$ 亦较之稍低，一般认为，明代龙泉瓷胎依然是采用单一瓷石为原料的，但可能风化程度稍高。

自宋代至明代，德化白瓷胎的基本特点是高硅、低铁、高钾，含铝量一直不高，有学者分析过 4 件明代德化白瓷胎[12][13]，平均成分为：$Al_2O_3$ 17.72%、$Fe_2O_3$ 0.29%、$TiO_2$ 0.24%、$K_2O$ 6.55%。玉溪瓷的含铝量亦较低，有学者分析过其中 1 件明代青花瓷胎，$Al_2O_3$ 只有 14.99%[14]。



（二）瓷土加工

制胎原料采来后，一般均需淘洗，有的还要粉碎。在新石器时代中期的裴李岗文化，其陶器已使用了淘洗工艺[15]；前云唐黄堡窑发现过石杵、石臼，以及带流的石盘等粉碎工具，辽代制瓷作坊发现过粉碎瓷土的碾子[16]。但有关淘洗、粉碎工艺较为详细的文献记载，却是到了明代才看到的，《天工开物》卷七“陶埏·白瓷”条在谈了景德镇制瓷的“两土和合”后说：“造器者两土等分入臼，舂一日，然后入缸水澄。其上浮者为细料，倾跌过一缸。其下沉者为粗料。细料缸中再取上浮者，倾过为最细料，沉底者为中料。既澄之后，以砖砌方长塘，逼靠火窑，以借火力，倾所澄之泥于中，吸干，然后重用清水调和造坯”。这里说到了原料粉碎、淘洗分级等一系列操作，是一段十分难得的资料。可见这整个加工过程大体可分五步：（1）配料，须“两土等分”。（2）入臼舂一日。（3）两次淘洗，两次分级，取细料缸中的上浮者为“最细料”，这一方面可去除粗粒原料，同时可去除夹杂，从而提高瓷胎的白度和透光性。（4）澄清。（5）吸干。清代《景德镇陶录》卷一也有类似记载，有的地方说得更为详细。

（三）成型

我国古代真瓷约发明于东汉时期，但关于成型工艺较为详细的记载却是明代才看到的，其中包括拉坯法、模制法、手制法三种。

《天工开物》卷七“陶埏·白瓷”载：“凡造瓷坯有两种：一曰印器，如方圆不等瓶、瓮、炉合之类，御器则有瓷屏风、烛台之类。先以黄泥塑成模印，或两破，或两截，亦或囫囵，然后埏白泥印成，以锈水涂合其缝，烧出时自圆成无隙。一曰圆器，凡大小亿万杯盘之类，乃生人日用必需，造者居十九，而印器则十一。造此器坯，先制陶车。车竖直木一根，埋三尺入土内，使之安稳。上高二尺许，上下列圆盘，盘沿以短竹棍拨运旋转，盘顶正中用檀木刻成盔头，冒其上。凡造杯盘，无有定型模式，以两手捧泥盔冒之上，旋盘使转，拇指剪去甲，按定泥底，就大指薄旋而上，即成一抷(杯)碗之形（原注：初学者任从作费，破坯取泥再造)。功多业熟，即千万如出一范。凡盔冒上造小坯者，不必加泥；造中盘大碗则增泥大其冒，使干燥而后受功。凡手指旋成坯后，覆转用盔冒一印，微晒留滋润，又一印，晒成极白干，入水一汶，漉上盔冒，过利刀二次（原注：过刀时手脉微振，烧出即成雀口)。然后补整碎缺，就车上旋转打圈。圈后或画或书字，画后喷水数口，然后过锈(釉)。”其中的“印器”法即模印法，或叫模制法；“圆器”法即拉坯法。图8－3－1所示为明代拉坯图，图8－3－2为明代瓷器过利图，即旋削加工图。

这段引文较长，详细地谈到了瓷器成型的全过程，大体说了五个问题：（1）明代瓷器成型的基本工艺是两种，即“印器”法和“圆器”法，前者又谓之模印法，或模制法，主要用于方器、长方器和形状较为复杂的圆器；后者即拉坯法，主要用于一般圆器。（2）模印法的基本操作。（3）陶车的基本结构。此“陶车”即考古界常说的“快轮”、“转盘”。（4）拉坯的基本操作。（5）拉坯后的旋削修坯操作，即是过利。如此详尽的文字，此前是不曾看到过的。



图8－3－1 《天工开物》所载“造瓶”图

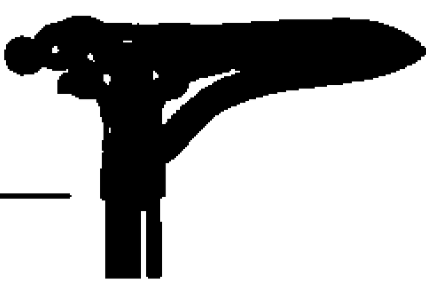


图8－3－2 《天工开物》所载瓷器“过利”图

（图8－3－2中原题，上：“过利，手刀一振，即成雀口”；中：“造瓷，圆器杯盘”；下：“陶车根埋土内”）

在各种瓷器中，方器之作最为艰难。清朱琰《陶说》卷一“琢器做坯”条载：“《事物绀珠》云：‘窑器，方为难。’方何以难也？出火后多倾欹坼裂之患，无疵者甚少。造坯之始，当角者廉之，当折者挫之，当合者弥缝之。隐曲之处，虑其不和；上下前后左右，虑其不均；故曰方为难。若圆器浑成，故由手法之准，而车已当人力之大半，不如方棱之全资人巧也。印坯有模，‘唐碗脱’见高宗时民谣，为造碗之模。”[17]此“琢器”，主要指不能只靠拉坯法，还须通过雕镶印削等工艺才能成最后成型的器物，如瓶、罍、尊、彝等。此主要说到了方器成型的难处和特点。“唐碗脱”即唐代造碗的模子，说模印法成型。朱琰结合《事物绀珠》的一句论断，对方器成型作了较好的描述。《事物绀珠》刊于万历十九年（1591年）。

明代瓷器成型中，薄胎器很值得我们注意。它约始于永乐（1403～1424年）时期，但当时只是“半脱胎”，成化（1465～1487年）之后才达到了几薄如纸，类如蛋壳，有如“脱胎”。清《景德镇陶录》卷二“脱胎器”条说：“镇窑专造此者，有半脱胎，极薄；有真脱胎，更如纸薄，为最精美器。所谓脱胎，脱去胎质，纯以釉成也。”此“纯以釉成”自然是一种比喻，前一句“更如纸薄”方是脱胎瓷器工艺真实的反映。脱胎瓷器之制作，从配料、拉坯、修坯、上釉到烧成，都有一套十分严格的工艺规范，如胎料含铝须较高，拉坯须有高超的技艺，而修坯尤须细致。修坯过程中，坯体从利篓处取下装上，反复数百次，才能成为厚度为2～3



毫米的粗坯，要修成薄如蛋壳的脱胎瓷，则需付出更为艰巨的劳动。隆庆、万历时的“蛋皮”式白瓷也达到了“脱胎”的程度[16]。

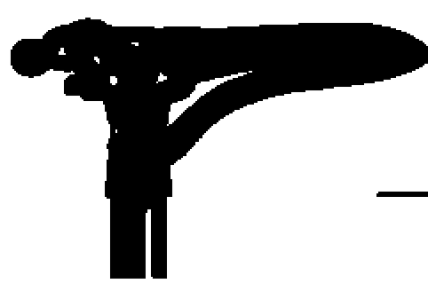
### 二、石灰—碱釉的发展

我国古代原始瓷釉约发明于夏、商时期，真釉至迟出现于东汉，但有关配釉的文献记载却是明代前后才出现的，其中较为重要的文献有《龙泉县志》和《天工开物》等。前者主要说龙泉窑，所说为青釉，本书元代部分已经谈到；后者主要说景德镇窑，所说为青白釉；两者配料法稍有差别。《天工开物》卷七“陶埏·白瓷”条云：“凡饶镇白瓷锈，用小港嘴泥浆和桃竹叶灰调成，似清泔汁（原注：泉郡瓷仙用松毛水调泥浆，处郡青瓷锈未详所出），盛于缸内。”此“锈”即釉。“釉”字约始见于宋代《集韵》，释作“物有光也。通作油”。前引《龙泉县志》亦引作“油”，明《正字通》作“泑”，清《景德镇陶录》却是“釉”、“泑”并用。“釉”字是较晚才流行开的。依此，明代晚期景德镇瓷釉是利用小港嘴地方的瓷石与桃竹叶灰调成，改变釉灰（草木灰与石灰之混合物）与釉石（做釉的瓷石）的配比，便可改变釉的成分。这段记载十分简洁明了。明代早、中期大约还使用过小港嘴以外的釉土。朱琰《陶说》卷三“说明·造法”云：“釉土，出新正都。曰长岭，作青黄釉；曰义坑，作浇白器釉……又出桃树坞，青花白器通用之。”

有学者分析过5件明代景德镇瓷釉成分，平均值为：$SiO_2$ 68.37%、$Al_2O_3$ 15.26%、$Fe_2O_3$ 1.17%、$TiO_2$ 0.03%、CaO 8.11%（7.5%～9.59%）、MgO 0.29%、$K_2O$ 4.09%（3.27%～4.93%）、$Na_2O$ 2.59%。可见其RO量较低，$R_2O$较高，为石灰—碱釉[9]。又有学者分析过2件景德镇永乐白瓷釉，其RO量较低，而$R_2O$量却较高。标本MY－1、标本MY－2的碱土金属和碱金属氧化物成分分别为：CaO 2.36%、MgO 0.6%、$K_2O$ 5.28%、$Na_2O$ 2.7%，CaO 2.65%、MgO 0.4%、$K_2O$ 5.34%、$Na_2O$ 2.0%[18]。依第六章之法计算，永乐白瓷釉标本MY－1、MY－2的釉式中，碱土金属氧化物RO的釉式分子数分别为0.36和0.39，皆属碱—石灰釉。永乐白瓷釉的优良性能，当与此有关。表中列出的1件景德镇宣德祭红釉标本，经计算，其釉式中RO的分子数为0.56，属石灰—碱釉。又有学者分析过5件明代龙泉青釉，平均成分为：$SiO_2$ 66.93%、$Al_2O_3$ 15.72%、$Fe_2O_3$ 1.68%、$TiO_2$ 0.05%、CaO 6.43%、MgO 1.3%、$K_2O$ 3.83%、$Na_2O$ 0.37%。可见，其CaO较低，$R_2O$稍高，亦是石灰—碱釉[11]。但龙泉青釉中的CaO无景德镇的稳定，$R_2O$量亦无景德镇高。明代玉溪青花瓷釉的CaO量为13.96%、$K_2O$ 2.43%，仍属石灰釉（表8－3－1）。

表8－3－1　　明代瓷釉化学成分

| 样号 | 名称和釉色 | 成分（%） | | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | $P_2O_5$ | CuO | |
| M1 | 景德镇宣德青花大盘 | 69.15 | 14.30 | 0.83 | 痕迹 | 8.44 | 0.44 | 3.27 | 3.34 | 0.06 | | | [9] |
| M5 | 景德镇嘉靖青花罐 | 67.98 | 14.65 | 1.85 | 0.14 | 7.84 | 0.5 | 4.14 | 2.68 | 0.35 | | | [9] |
| M2 | 景德镇万历五彩盘 | 69.60 | 15.45 | 1.00 | 痕迹 | 7.50 | / | 4.93 | 1.85 | 0.03 | | | [9] |
| M3 | 景德镇万历青花盘 | 68.41 | 15.35 | 0.99 | 痕迹 | 9.59 | 0.14 | 3.33 | 2.52 | / | | | [9] |
| M4 | 景德镇万历青花梵字盘 | 66.78 | 16.55 | 1.16 | 痕迹 | 7.54 | 0.07 | 4.77 | 2.56 | 0.04 | | | [9] |
| | 景德镇瓷片永乐祭红 | 70.07 | 13.56 | 0.82 | | 7.83 | 0.34 | 4.61 | 2.04 | | | 0.35 | [34] |





(续表)

| 样号 | 名称和釉色 | 成分(%) | | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | $P_2O_5$ | CuO | |
| | 景德镇瓷片宣德祭红 | 70.56 | 13.20 | 0.71 | | 6.57 | 0.41 | 5.83 | 2.32 | | | 0.42 | [34] |
| | 景德镇瓷片宣德祭红剔花红釉 | 71.83 | 13.45 | 0.72 | | 6.31 | 0.26 | 4.28 | 2.64 | | | 0.26 | [34] |
| MY-1 | 景德镇永乐白瓷釉 | 71.18 | 15.22 | 1.17 | 0.1 | 2.36 | 0.6 | 5.28 | 2.7 | 0.09 | 0.16 | | [18] |
| MY-2 | 景德镇永乐白瓷釉 | 72.25 | 16.01 | 0.8 | 0.05 | 2.65 | 0.4 | 5.34 | 2.0 | | | | [18] |
| 018 | 龙泉青瓷盘,豆青釉 | 68.74 | 14.11 | 1.51 | <0.01 | 9.07 | 1.41 | 3.83 | 0.31 | 0.45 | 1.38 | | [10] |
| 020 | 龙泉青瓷盘,灰黄釉 | 68.63 | 16.32 | 1.61 | 0.028 | 7.78 | 1.09 | 4.13 | 0.18 | 0.35 | 0.34 | | [10] |
| 022 | 龙泉青瓷碗,青绿釉 | 62.95 | 14.29 | 1.63 | <0.01 | 13.07 | 1.72 | 4.31 | 0.17 | 0.63 | 0.82 | | [10] |
| 024 | 龙泉青瓷碗,淡黄釉 | 64.14 | 13.43 | 1.92 | <0.01 | 12.05 | 2.01 | 3.87 | 0.22 | 0.77 | 0.85 | | [10] |
| ML-1 | 龙泉大窑青瓷碗,黄泛棕釉 | 70.18 | 20.47 | 1.17 | 0.19 | 0.16 | 0.29 | 6.02 | 0.97 | 0.10 | | | [11] |
| ZH1 | 德化白瓷 | 64.05 | 17.10 | 0.59 | 0.02 | 9.26 | 1.40 | 6.61 | 0.26 | 0.28 | | 0.51 | [12] |
| ZH2 | 德化白瓷 | 68.09 | 14.50 | 0.04 | 0.04 | 9.73 | 0.44 | 6.45 | 0.36 | | | | [12] |
| MZ199 | 德化白瓷猪油白釉 | 69.66 | 15.64 | 0.62 | | 6.98 | 0.43 | 5.42 | 0.17 | | 0.08 | | [13] |
| MTB1 | 德化白瓷猪油白釉 | 69.01 | 15.56 | 0.24 | 0.35 | 6.04 | 0.78 | 6.65 | 0.16 | | 0.45 | | [13] |
| YU-2 | 玉溪青花碗 | 63.5 | 11.68 | 1.52 | 1.02 | 13.96 | 2.04 | 2.43 | 0.06 | 0.45 | | | [14] |

注：除表中所列外，景德镇标本 M5 尚含 CoO 0.36%；龙泉标本 018 尚含 FeO 0.04%，标本 020 尚含 FeO 0.15%，标本 022 尚含 FeO 0.31%。

从实物观察和文献记载看，我国古代施釉法约有荡釉、蘸釉、浇釉、刷釉、吹釉等种，一器可用一法，但经常是多法兼用，其具体操作则往往又因时代、地域、器物形态和部位，以及工匠的操作习惯等而不同，明代所用主要是前几种，也有人推测明代可能使用过吹釉法[19]。《天工开物》卷七“白瓷”条说：“凡诸器过锈，先荡其内，外边用指一蘸涂弦，自然流遍。”可见这里谈到了荡釉和蘸釉两法，原书图示的为蘸釉法。同书同卷“罂瓮”条只谈到了蘸釉法和涂釉法，说施釉时，“榄（搅）令极匀，蘸涂坯上，烧出自成光色”。实际上，关于吹釉法的记载始见于清乾隆时唐英所著《陶冶图说》，明代吹釉技术的使用情况，是有待进一步研究的。

**三、彩瓷技术的多项成就**

彩瓷即是以彩绘作装饰的瓷器，其中应包括点彩、釉下彩、彩上彩，以及斗彩。斗彩即是釉上彩与釉下青花之结合。此“彩”通常又有高温型和低温型两种。

如前所云，我国古代瓷器的彩绘装饰技术约始于三国西晋时期，当时主要是釉下彩。隋、唐时期有了进一步发展，隋邛崃窑有釉下彩，唐长沙窑、耀州窑有釉下彩和釉上彩。宋时，釉下彩技术在磁州窑发展到了较高水平。元时，釉下钴蓝彩（釉下青花）技术在景德镇兴起。及明，在全国范围内，彩绘都成了瓷器装饰的主要手段。明代是彩瓷的黄金时代，也是我国古代制瓷技术光辉灿烂的时期，五光十色的高温色釉，各种各样的彩瓷都被创造出来。其代表性窑口是景德镇，较为重要的工艺主要有：

（一）釉下青花

此技术在明代获得了空前的发展，成了景德镇，乃至全国瓷器生产的主流，



官窑、民窑都在烧造。今在江西、浙江、福建、广东、广西、云南、山西等省的20多个县所见明代窑址中，大部分产品皆为青花器。

明代青花的一个重要特点是色料多样，其产地、配合方式各不相同。归结起来，其青料约有四种不同类型[16]：

1. 国产青料。在官窑中主要使用于两个历史时期，即洪武时期和万历至明末，这大约都与战争或其他原因中断了进口青料有关。多数民窑一般都使用国产青料；进口青料多由朝廷控制，而且较贵。

国产青料当时主要产于浙江、江西、云南等地，优劣不一。《天工开物》卷七"陶埏·白瓷"云："凡画碗青料，总一味无名异……此物不生深土，浮生地面，深者埚下三尺即止，各省直皆有之，亦辨认上料、中料、下料……凡饶镇所用，以衢、信两郡山中者为上料，名曰浙料；上高诸邑者为中，丰城诸处者为下也。""如上品细料器及御器龙凤等，皆以上料画成。"看来，官窑，以及高级民窑青花所用皆为浙料，较粗的民窑器则为江西上高、丰城诸邑料。从科学分析看，民窑青花的 MnO/CoO 比和 $Fe_2O_3$/CoO 比多与浙江、云南精选并煅烧后的钴土矿较为接近[20]。从外观看，国产料的青花颜色往往偏暗。

2. 苏麻离青，又作苏渤泥青、苏泥勃青。旧传产于波斯，但今伊朗不产青料，不知是矿源已枯，还是原产于今叙利亚一带。主要用于永乐、宣德时期的官窑。此期青花器的胎釉皆较精细，青花色泽浓艳，纹饰秀美，是我国青花瓷的黄金时代。

王世懋《二委酉谭》云："我朝则专设于浮梁县之景德镇。永乐、宣德间内府烧造，迄今为贵。其时以鬃眼、甜白为常，以苏麻离青为饰，以鲜红为宝。"该书成于万历十七年（1589年），这是我国古代关于使用苏麻离青的最早记载。黄一正《事物绀珠》卷二二"器用·今窑器类"载："正德间，大珰镇云南得外国回青，以炼石为伪宝，价初倍黄金，已知其可烧窑器，用之，色愈古器。"[17]同年，高濂《遵生八笺》卷一四在讨论饶器、新窑、古窑时亦说"宣窑之青，乃苏渤泥青"。

朱琰《陶说》卷三"说明·造法"条在谈到明代瓷器工艺时说："苏泥勃青，宣窑青花器用此，至成化时已绝。""回青，正德时大珰镇云南，得此于外国。嘉靖御器用此，其后亦不能继。"此说得更为简明。

据分析，明代青花色料的 $Fe_2O_3$/CoO 比和 MnO/CoO 比相当分散，充分说明其青料种类之多[20][21]。宣德青花的 $Fe_2O_3$/CoO 比为 2.5～5.81，MnO/CoO 比为 0.68～0.81，与元代较为接近，这是一种低锰、低铝、高铁的钴料。典型宣德青花的颜色系蓝中泛绿，深者为黑色，呈黑斑或黑点。此黑色当与铁氧化物在还原性气氛中还原出了金属铁有关[22]。

3. 国产料和进口苏麻离青间杂使用，时而用此，时而用彼。这主要发生于成化、弘治、正德时，当与苏麻离青突然断绝有关。成化、弘治青花器的主要特点是胎薄、釉白，青花之色淡雅，所用国产青料主要是江西饶州乐平的平等青。典型正德青花器的主要特点是胎厚，青花浓艳而泛灰；所用青料有瑞州上高石子青等。据分析，成化青花的 MnO/CoO 比为 1.82、$Fe_2O_3$/CoO 比为 1.91，当是国产钴土原矿与进口低铝高铁钴料的混合体[20]。

4. 回青杂合瑞州石子青。主要流行于嘉靖、隆庆和万历初年。其青花色调的主要特点是蓝中泛紫泛红，显得浓重鲜艳。成书于嘉庆三十五年（1556 年）的《江西大志·陶书》云："陶用回青，本外国贡也，嘉靖中遇烧御器，奏发工部，行江西布政司贮库时给之。""回青淳，则色散而不收；石青加多，则色沉而不亮；每两加石青一钱，谓之上青，四六分加，谓之中青。"[2]可见回青是不宜单独用的。

在传统工艺中，钴土矿皆需经过淘洗、装钵烧炼、精选、研乳等加工，未经炼制加工的钴土原矿是不宜绘画的[22]。

从大量研究看，影响青花色态的因素主要有三：一是钴料中着色元素钴、铁、锰的含量及其相互间的比例。我国青花瓷并非单一钴离子 $Co^{2+}$ 着色。二是青料中的 $Al_2O_3$ 含量。三是烧成时的温度和气氛[20]。明代前期青料所含 $Al_2O_3$ 常低于 18% ~20%，釉料与色料结合处的成分仍处于磷石英区，色料会被釉全部熔融，而形成蓝色玻璃相。因 $Co^{2+}$ 在这种粘度较小的蓝色玻璃相中是较易扩散的，故元代和宣德青花皆易流散，而难以描绘出纤细线条和人物的五官眉发来，但却使之获得了"晕青"的特色，而达到了水墨画的效果。正德（1506 ~1521 年）之后，色料所含 $Al_2O_3$ 量常超过 18% ~20%，釉与青料结合处的成分才有可能进入钙长石或莫莱石相区，着色区才会出现钙长石或莫莱石晶体和青料残留颗粒，使色料不易流散，故明代中后期（及至清代）的青花纹路细致、清晰，人物眉发不易失真[20]。青花宜于在还原性气氛中烧成[22]，若为氧化性气氛，即使上等青料，颜色也不会鲜艳，而会变成略带污染的黑色。所以明代青花技术的发展，是制胎术、制釉术、青料选择加工和烧成技术等整体都提高了的表现。

（二）釉上彩和斗彩

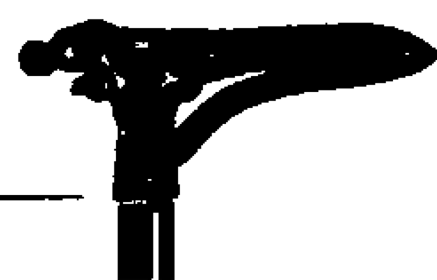
明代瓷器的釉上单彩和釉上多彩技术都有了较大进步，习见彩色有红、黄、绿、蓝、黑、紫等。比较重要的釉上彩和斗彩品种有：

1. 洪武釉上红彩。早在宋代，釉上红彩技术便在今山西、河南有了发展，及明，又有了进一步提高，主要是胎釉更为洁白、细腻。1964 年，南京明代故宫出有洪武白釉红彩云龙纹盘，十分精致[23]。釉上红彩工艺在整个明代都不曾间断过。

2. 宣德青花红彩。这是釉下青花与釉上红彩相结合的工艺。基本操作是：先烧出釉下青花，后在釉上用铁红料绘制花纹图案，再经低温烘烤而成。釉下青花和釉上彩技术虽早已发明，但过去都是单独使用的，把两者结合起来，是明代宣德窑工的又一创造。

青花红彩的出现很可能与元代青花釉里红有关[24]。但两者在工艺上存在许多差别，青花釉里红系用钴蓝料和铜红料在釉下着色，然后高温一次烧成；青花红彩工艺则分两步，先烧造釉下青花，再在低温下烘烤釉上红彩。青花釉里红烧成难度较高，明代工匠采用釉下青花与釉上红彩相结合的工艺，十分简便地获得了与青花釉里红同样好的艺术效果。

3. 成化斗彩，是釉下青花与釉上多彩相结合的工艺。它是在宣德青花红彩的基础上发展起来的。其区别是：一个仅用红色，为单彩；一个使用多色，为多彩。"斗彩"之名始见于清《南窑笔记》"彩色"条，说"成、正、嘉、万俱有斗彩、五彩、填彩三种。先于坯上用青料画花鸟半体，复入彩料，凑其全体，名曰斗彩。



填(彩)者，青料双钩花鸟、人物之类于坯胎；成后，复入彩炉，填入五色，名曰填彩。其五彩，则素瓷纯用彩料画填出者是也”。该书著者佚名，约成于清雍正年间，对明代和清乾隆以前景德镇瓷器烧造情况所述甚详。这里把斗彩、填彩、五彩的工艺要点都一一地作了说明。可见：斗彩是釉下青花与釉上彩色拼斗而成完整图案者；填彩是用釉下青花双钩出各种图案的轮廓线，然后再以釉上色彩填入者；五彩则是单纯的釉上彩。关于这些色彩的原料，同书同条也作了详细说明：“彩色有矾红，用皂矾炼者，以陈为佳。黄色用石末、铅粉，入矾红少许配成。用铅粉、石末入铜花为绿色。铅粉、石末入青料则成紫色。翠色则以京翠为上，广翠次之。以上颜色，皆诸朝名”。清代则又有差别。成化斗彩的技术意义是开创了釉下青花与釉上多彩相结合的工艺，主要特点是用色极为鲜明。鲜红则色艳如血，油红则色艳而有光，鸡冠红则与鸡冠色一般模样；其鹅黄之色则既娇嫩，且又透明而微闪绿光。这些都为嘉靖、万历五彩的发展奠定了良好的基础。

4. 嘉靖、万历五彩。其中主要有青花五彩、色地五彩、金彩和纯色五彩。名曰“五彩”，实是多彩的。

青花五彩。也是釉下青花与釉上多彩相结合的工艺。它与成化斗彩的区别是：成化斗彩的青花在构图中处于决定性、主导性的地位，做法是先以青花勾画好图案轮廓线，再依其规定好了的范围填入釉上彩；而嘉靖、万历五彩的青花则仅仅是构图的普通因素，与红、黄、绿等色是处于同等地位的。另外，成化斗彩构图疏雅，色泽鲜艳，嘉靖、万历五彩的花纹则几乎布满了全器，且彩色浓重，尤其是万历五彩。

色地五彩。这也是嘉靖、万历釉上彩瓷的重要品种，且数量不少。在传世品中看到的有黄地红彩、黄地紫彩、黄地蓝彩、黄地绿彩、红地绿彩等，其中有的需经过三次烧造才成。如黄地红彩，第一次在高温下烧制瓷胎（即素烧），后浇黄釉；第二次在650℃～900℃烧成黄釉器，并用铁红料填出所需图案；第三次在低温下烘烤铁红彩。因铁红彩罩于黄地上，给人一种红地黄彩的错觉，故此工艺习又谓之红地黄彩。

金彩。嘉靖朝尤盛。嘉靖《江西大志·陶书·颜色》在谈到其制作工艺时说：“描金，用烧成白胎上金黄，过色窑，如矾红过炉火，贴（?）金二道，过炉火二次，余色不上金黄。”[2]

纯色五彩。所见较少，其色彩主要有红、黄、绿三种。

5. 素三彩。创于正德时期，操作要点是把几种不同色调的低温色釉，依器胎上事先雕刻好了的花纹图案，在相应部位分别填釉。习用黄、绿、紫三色，但也可多色，主要特点是不用红色，这与釉上五彩中以红为主的工艺是不同的。

这是明代釉上彩、斗彩的几种主要品种[25][26]。一般认为，釉上彩当是在汉低温釉基础上演变过来的，历代低温色釉的着色元素皆限于铁、铜、钴、锰四种，早期釉上彩也是这样的[27]。两者的区别主要是，低温釉属 $PbO-SiO_2$ 二元系，釉上彩一般属 $PbO-SiO_2-K_2O$ 三元系，即在上述二元系中，以硝石的形式加入了 $K_2O$[28][29]。

彩瓷的兴起具有重要的技术意义和社会意义，我国古代瓷器的着色剂都是天

然矿物，着色元素主要是铁、铜、钴三种，明代工匠使用不同的色料和配方，制作出了许多不同的色彩来，充分反映了我国古代陶瓷工人的聪明才智和创造精神。彩瓷的发展一方面与彩料技术有关，另一方面与白瓷胎质量的提高也是分不开的，有了洁白细腻的白瓷做底，绚丽多姿的彩画才能更为完美地反映出来。彩瓷的兴起，使长时期占据统治地位的颜色釉器退居到了次要地位，也使某些单色釉瓷窑，如龙泉窑、磁州窑等，受到了很大的冲击。这些彩瓷主要见于景德镇官窑，许多品种在民窑上也有生产，但质量一般不如官窑。

**四、单色釉技术的发展**

在彩瓷技术发展的同时，明代单色釉(包括高温型和低温型两种)，也有了较大发展。《南窑笔记》“官窑”谈到的明代单色釉瓷有永乐、宣德甜白瓷、霁青瓷、霁红瓷，此外还谈到了月白釉、蓝色釉、淡米色釉、米色釉、淡龙泉釉、紫金釉六种，并说这些色釉“宣、成以下俱有”。明代单色釉的优秀品种主要是：永乐宣德铜红釉、宣德钴蓝釉、正德孔雀铜绿和弘治铁黄釉，下面仅介绍其中三种：

（一）永乐、宣德铜红釉。我国古代铜红釉始见于唐长沙窑[30]，宋钧窑、元景德镇窑等都有使用，但因技术难度较大，故明代以前，通体皆红、色泽纯美的铜红器是很少看到的；明永乐时才成功地烧造出来，宣德时又有了进一步提高。这种铜红釉的成功烧制是景德镇窑工的又一重大贡献。因其色泽红艳，有如红宝石一般，又如雨过天晴之霞霁，故又获得了“鲜红釉”、“宝石红”、“霁红”等美称；又因其宜作祭祀，故又谓之“祭红”；因其在宣德年尤为突出，而又谓之“宣烧”、“宣德宝烧”等等。永乐、宣德红釉器的特点是胎质细腻、釉面不流不裂，色调虽然鲜艳，但却庄重、肃穆、深沉[31]。

我国古代陶瓷工艺中，以“铜”为着色剂的色釉计有两种：一是低温铅釉，呈绿色，在氧化焰中烧成；始见于汉，之后许多时代都有使用；它是使用二价铜离子 $Cu^{2+}$ 着色的。二是高温钙质釉，呈红色，在还原焰中烧成。但学术界对它的着色机理仍有不同看法，有说纯铜着色，认为我国乃至日本的铜红釉，几乎都看不到氧化亚铜的迹象[32]；有说主要依靠氧化亚铜着色，二价铜离子 $Cu^{2+}$ 起辅助作用[33]，可以进一步研究。但不管怎样，铜红釉应在稳定的还原气氛中烧成，铜的数量和存在状态是呈色的决定性因素。一般而言，在其他条件相同的情况下，釉中含铜为0.3%～0.5%时，呈色是最佳的；含铜量过高，釉色会像火漆一样混浊。铜的存在状态不但与烧成温度、气氛有关，而且与釉中其他组分的数量，如 $SiO_2$ 和碱金属氧化物的含量有关。虽然明代烧出了鲜红的铜釉，但其技术难度还是较大的，故传世品中色泽鲜红者甚少。有学者分析过3件永乐、宣德铜红釉[34]，成分为：CuO 0.26%～0.42%，平均0.34%；CaO 6.31%～7.83%，平均6.9%；$K_2O$ 4.28%～5.83%，平均4.91%，典型的石灰—碱釉。其他组分的平均值为：$SiO_2$ 70.82%、$Al_2O_3$ 13.4%、$Fe_2O_3$ 0.75%、$TiO_2$ 未显示、MgO 0.34%、$Na_2O$ 0.23%。

（二）宣德钴蓝釉。这是一种以钴着色的高温色釉。钴蓝始见于唐代的三彩陶和釉下青花瓷，元代钴蓝釉已有较大发展；及明，尤其宣德时期，钴蓝器不但数量较多，而且质量较好，被后人推为宣器之上品，《景德镇陶录》卷三“配合釉料”条载：“霁青釉，用青料配泑合成”。此“霁青”即钴蓝，民俗习谓“蓝”为



"青"。此景德镇之釉，显然是指青白釉。可见钴蓝釉系用钴土矿与普通青白釉合成的。它也是一种石灰—碱釉，生坯施釉，在 1280℃～1300℃下一次烧成。呈色稳定，色调浓淡均匀，深沉安静，釉面不流不裂。

（三）弘治黄釉。是以三价铁离子 $Fe^{3+}$ 着色的低温色釉，其矿物主要是天然矿物赭石[35]。我国古代的低温黄色铅釉早在唐三彩上便已出现，但明代以前的黄釉皆非正黄，而是褐黄或深黄；明弘治时，正黄的铅釉始成，其色调较为均匀一致，釉面平整，光泽较好，达到了黄釉历史的最高水平。

低温黄釉中的 $Fe_2O_3$ 量波动较大，有人分析过一件明弘治正黄色釉，其值为 3.66%；其余组分为：$SiO_2$ 42.93%、$Al_2O_3$ 4.52%、CaO 1.16%、MgO 0.1%、$K_2O$ 1.3%、$Na_2O$ 0.73%、MnO 0.03%、PbO 45.0%、CuO 0.05%；一件唐三彩的棕黄釉，其 $Fe_2O_3$ 为 4.71%；而一件光绪素三彩的正黄釉含 $Fe_2O_3$ 为 1.39%[35]。

清朱琰《陶说》卷三"说明·造法"条系统地谈到了明代白釉、青釉，以及各种颜色釉、彩的配料情况。云："油色，用豆青油水、炼灰、黄土合成。紫金色，用罐水、炼灰、紫金石合成。翠色，用炼成古铜水、硝石合成。黄色，用黑铅末一觔、碾赭石一两二钱合成。金绿色，用炼过黑铅末一觔、古铜末一两四钱、石末六两合成。金青色，用炼成翠一觔、石子青一两合成。矾红色，用青矾炼红、每一两加铅粉五两，用广胶合成。紫色，用黑铅末一觔、石子青一两、石末六两合成。浇青，用釉水、炼灰、石子青合成。纯白，用釉水、炼灰合成。"这段引文较长，但对我们了解明代彩瓷、色釉工艺是很有帮助的。其中有高温釉，而加有铅、硝石者则属低温釉、彩。第一句之"油"，即釉，此指青釉。"炼灰"即釉灰。"紫金石"，应是含铁较高的一种粘土。硝石，此即牙硝，主要成分为 $KNO_3$。黑铅末，原指铅的氧化物，景德镇实际使用的是一种混合料，成分为：$SiO_2$ 42%、$SnO_2$ 8%、PbO 43%、$K_2O$ 7%，这是一种低温釉。赭石主要成分是 $Fe_2O_3$。青矾的主要成分是硫酸亚铁，化学式为 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$。石子青即前云用作青花之钴蓝料。从传统工艺调查来看，我国低温釉的施釉法主要有蘸釉法、浇釉法和涂釉法三种，其胎有素烧的，有烧结过了的"石胎"，也有带釉的白瓷成品，后者的操作是将低温釉涂在玻化了的白釉表面。弘治黄釉因常用浇釉法，习谓之浇黄。与其他低温色釉相比较，浇黄釉有两个明显特点：一是烧成温度较高（850℃～900℃），稳定性较好；二是透明度较好，使瓷胎上雕刻的花纹图案透过釉层清晰地显示出来，从而产生特殊的艺术效果[25]。

我国传统黄釉有两种：一是高温型的石灰釉，二是低温型的铅釉，皆是铁黄釉。弘治之后，明代历朝都有黄釉生产，且成了祭器的重要颜色之一。

**五、景德镇以外的民营制瓷技术**

除瓷都景德镇外，明代其他地方制瓷技术也有不同程度的发展，其中最突出的是福建德化白瓷、山西法华三彩、江苏宜兴紫砂器。龙泉青瓷在明代初年的生产量还是很大的，截至弘治年间止，民间所用仍以龙泉瓷为主，但技术上无甚建树。

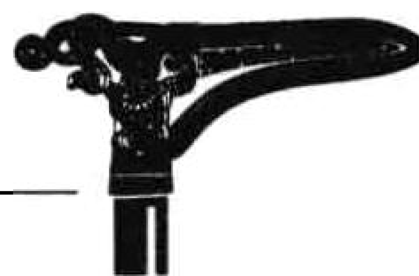
（一）德化象牙白。此窑约始烧于宋[36]，及明便在胎、釉的选择和加工、烧成技术等方面都达到了较高水平，并成了全国优秀产品之一。

由于自然的和人为的因素，德化白瓷所含 $SiO_2$ 一般较高，$Al_2O_3$ 量则较低，着色剂 $Fe_2O_3$、$TiO_2$ 亦较低，助熔剂 $K_2O$ 则由早期到晚期呈现明显增长的趋势。李家治等分析过5件宋代德化影青瓷和白瓷，其中北宋白瓷2件、影青瓷1件、南宋影青瓷2件[13]，成分为：$SiO_2$ 介于 71.76% ~ 81.6% 之间，平均 76.49%；$Al_2O_3$ 14.92% ~ 21.76%，平均 18.85%；$Fe_2O_3$ 0.42% ~ 1.12%，平均 0.72%；$TiO_2$ 0 ~ 0.09%，平均 0.03%；$K_2O$ 2.75% ~ 5.16%，平均 3.96%。可见在宋代，其硅、铝量虽有一定波动，但总体上显示了硅高铝低的特点。他们还分析过5件元代德化白瓷胎，其中影青瓷2件、象牙白2件、普通白瓷1件[13]，成分为：$SiO_2$ 72.69% ~ 77.22%，平均 75.36%；$Al_2O_3$ 17.38% ~ 20.68%，平均 19.05%；$Fe_2O_3$ 0.25% ~ 0.55%，平均 0.37%；$TiO_2$ 0 ~ 0.18%，平均 0.07%；$K_2O$ 4.37% ~ 5.82%，平均 5.07%。可见元代德化白瓷胎的 $Fe_2O_3$ 明显降低，$K_2O$ 量明显提高。有学者分析过4件明代德化白瓷[12][13]，平均成分为：$SiO_2$ 74.6%、$Al_2O_3$ 17.2%、$Fe_2O_3$ 0.29%、$TiO_2$ 0.24%、CaO 0.24%、MgO 0.22%、$K_2O$ 6.55%、$Na_2O$ 0.14%。其 $Fe_2O_3$ 较元代又有降低，$K_2O$ 又有提高。德化白瓷胎的质地较白，且易于正烧，烧成后玻璃相较多，胎质致密，透光性较好。其 $K_2O$ 量不断提高，很可能与原料曾充分淘洗，对绢云母颗粒进行了较好的富集有关[13]。有学者分析过4件明代德化白瓷釉成分，其 CaO 量较低，为 6.09% ~ 9.73%，平均 8.0%；$K_2O$ 较高，为 5.42% ~ 6.65%，平均 6.28%；$Fe_2O_3$ 较低，为 0.24% ~ 0.62%，平均 0.460%；$TiO_2$ 亦较低，为 0 ~ 0.35%，平均 0.1%。这是典型的石灰—碱釉。因其釉中、胎中 $K_2O$ 都较高，且较接近，便形成了胎、釉助熔剂相仿的状态，使德化白瓷给人一种胎釉一体的美感。德化白瓷釉的配制法与景德镇相仿，也以瓷石合釉灰而成。明、清釉灰配入量大约只有宋、元的一半，这便为其胎釉结合创造了更好的条件。宋代德化白瓷是采用还原焰烧成的，故釉色白里泛青；元明时用了氧化焰，釉色白里泛黄，有如象牙、猪油之色，并因此而获得了“象牙白”、“猪油白”的美称[12][13]。

（二）法华三彩。始创于元，明代中期之后，盛于山西晋南一带，明嘉靖前后江西景德镇亦开始仿制。法华器原是一种陶胎中温釉器，因常作庙宇祭祀用品，故常以“法”字冠称。釉色有黄、绿、蓝、紫、白等，习谓法黄、法绿、法蓝、法紫等，其花纹图案常凸出釉面，但釉面常有开裂。景德镇仿制时，将陶胎改成了瓷胎。

景德镇法华三彩系两次烧成，先在坯胎上绘制出花纹图案的轮廓线，再用毛笔蘸上胎料泥浆，并在轮廓线上堆出一定高度的凸线，之后入窑烧成完全瓷化的素胎；又在凸起的轮廓线内填上各种不同色调的法华釉，轮廓线外平涂法翠或法紫，最后入窑在 1200℃ 下烧成[27][29]。

景德镇法华三彩采用钾盐为助熔剂，与我国传统低温色釉采用铅粉为助熔剂是不同的。《南窑笔记》“法蓝”条云：“法蓝、法翠二色……本朝有陶司马驻昌南传此二色，云出自山东琉璃窑也。其制用涩胎上色，复入窑烧成者。用石末、铜花、牙硝为法翠，加入青料为法蓝。”此“牙硝”主要成分为 $KNO_3$。钾盐助熔剂的起源约可追溯到宋代磁州窑的孔雀绿釉上，经分析，其主要助熔是 $K_2O$ 和



$Na_2O$，含量分别达 8% 和 7% 左右，而 CaO、MgO、PbO 的含量都在 1.5% 以下[27][29]，这与我国传统低温铅釉和高温石灰—碱釉都有一定区别。牙硝的采用，这是景德镇工匠的又一创造。

（三）宜兴紫砂壶

宜兴紫砂壶是一种质地细腻、含铁量较高的无釉细陶器，其色赤褐、淡黄或紫黑等。始创于宋，盛于明代中期，清时又有了进一步发展。有学者分析统计过 4 件古代宜兴紫砂器，其中北宋 1 件，清代早、中、晚期各 1 件[37]，成分为 $SiO_2$ 62.5% ~ 70.55%，平均 65.1%；$Al_2O_3$ 17.67% ~ 25.19%，平均 22.03%；$TiO_2$ 1.28% ~ 1.35%，平均 1.31%；$Fe_2O_3$ 7.4% ~ 8.66%，平均 8.1%；$K_2O$ 1.36% ~ 2.5%，平均 1.86%；FeO 0.33% ~ 1.38%，平均 0.64%。可见其含硅量不高，含铝量较高，着色剂铁、钛量较高。宜兴紫砂壶在氧化焰中烧成，成品透气性较好，吸水率小于 2%。

**六、筑窑和装烧技术的重大进步**

此期在筑窑技术上取得了多项重要成就：一是葫芦窑有了发展，二是出现了阶级式龙窑。这些情况对于提高热利用率，改善窑内温度分布和气氛控制，提高产品质量，都具有重要的意义。

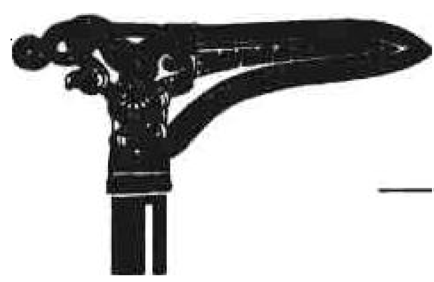
（一）葫芦窑的发展。始见于宋福建南安窑，元代后期景德镇便已使用，明代亦沿用了下来。明宋应星《天工开物》卷七便载有这种葫芦形窑的形态（图 8－3－3），用于烧造白瓷器，原署名“瓷器窑”，但原书只载有工作图，无文字说明。




**图 8－3－3　《天工开物》所载“瓷器窑”图**

（图中原题：上：“瓷器窑”；中：“天窗十二眼，后入薪烧火两个时，火从上足下，共计火力十二时辰”；下：“门火先烧十个时，足火从下攻上”。）

在景德镇考古发掘中，明代葫芦窑已发现多座。1972 年在乌泥岭东发掘 1 座，窑全长 8.4 米，腰部内折，似葫芦形，分前后两室，前宽后窄（3.7 ~ 1.8 米），前短后长，坡斜 4 度 ~ 10 度（图 8－3－4），属明代早、中期[42]。可见此窑与前述元代后期的葫芦窑的外部形态已经明显的不同，后者更接近于葫芦形，其前后两室的长度相差较少。2002 ~ 2004 年又在珠山北麓发现 7 座，其中有 2 座保存较好，窑体斜长约 10 余米，





前室宽 3.2～3.28 米，后室宽 2.14～2.28 米，倾斜 8～10 度；属洪武至永乐时期[43]。

（二）阶级式龙窑的出现。从历史上看，我国古代龙窑计有三种类型：(1) 通室式，见于宋代以前。(2) 分室式，或叫鸡笼式，始见于宋，发展于元。广东潮安宋代龙窑、福建德化屈斗宫元代龙窑、明代龙泉龙窑等皆属这一类型。(3) 阶级式。其首创于明代德化窑[38][39]，基本特点是窑底呈阶梯形，每一阶为一个窑室，并用隔墙（或谓挡火墙）分开，后一室的底部比前一室的稍高；全窑被分隔成 5～7 个，或者更多个互相连通的窑室。每一窑室设有一个窑门。窑身一般较宽较高，宽可达 7.0 米，高可达 3.0 米。窑顶半圆形。因隔墙对火焰阻力较大，为此，窑的坡度亦做得较大（如达 21 度）。每室的前端皆设火膛，火膛两侧皆设投柴口，隔墙下设有通火孔；每一窑室都相当于一个半倒焰式的馒头窑，其火焰流形态与通室龙窑已有明显不同（图 8－3－5）。这种窑便兼具了通室龙窑和半倒焰式馒头窑的优点，既提高了热利用率，易于创造较高的温度和还原气氛，又更便于保温，从而适应了石灰—碱釉的需要[38][39][40]。显然它是宋代不规则的分级式、分室式龙窑的发展和完善。图 8－3－6 所示为阶级式龙窑及其火焰流向示意图。

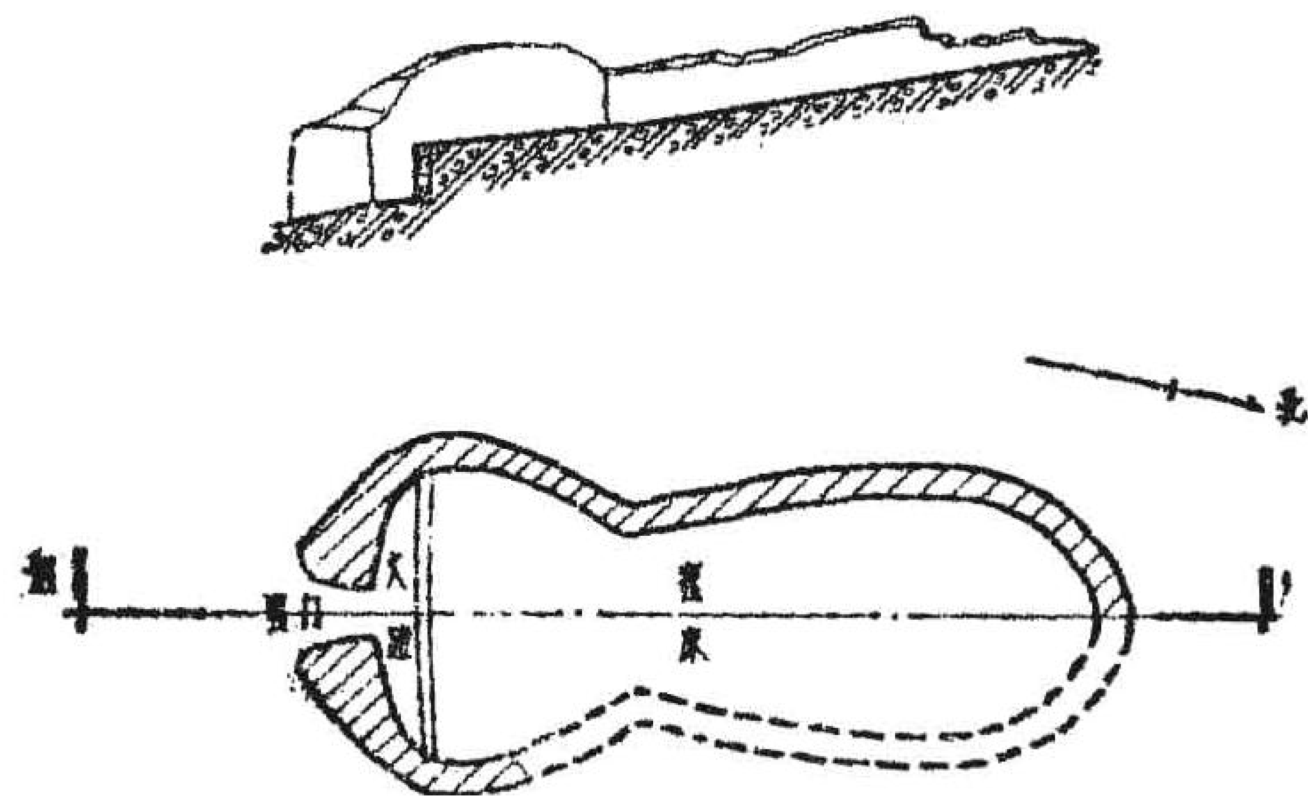


图 8－3－4　景德镇乌泥岭明代早、中期葫芦窑

采自文献［42］

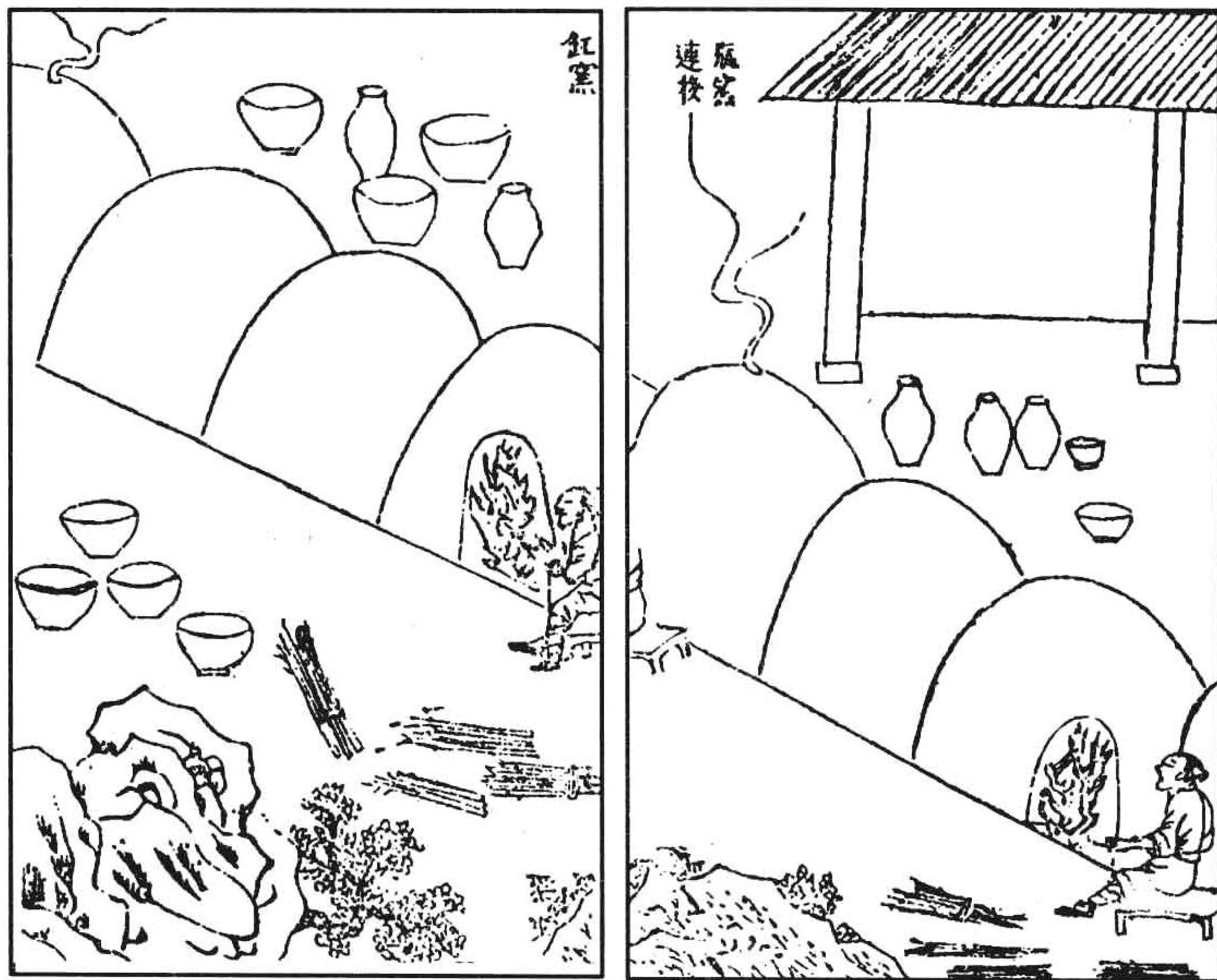
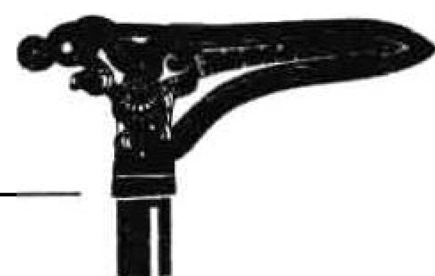



图 8－3－5　《天工开物》所载“瓶窑连接缸窑”图

《天工开物》所载陶瓷窑计有两种，一即前云葫芦窑，用于烧制白瓷；二即阶





级式龙窑，用于烧造陶缸、瓮、坛一类大件。其卷七“陶埏·罂瓮”条在谈到烧缸龙窑时说：“凡缸、瓶窑不于平地，必于斜阜山冈之上，延长者或二三十丈，短者亦十余丈，连接为数十窑，皆一窑高一级。盖依傍山势，所以驱流水湿滋之患，而火气又循级透上。其数十方成陶者，其中苦无重值物，合并众力众资而为之也。其窑鞠成之后，上铺覆以绝细土，厚三寸许。窑隔五尺许，则透烟窗，窑门两边相向而开。装物以至小器装载头一低窑，绝大缸瓮装在最末尾高窑。发火先从头一低窑起，两人对面交看火色。大抵陶器一百三十斤，费薪百斤。火候足时，掩闭其门，然后次发第二火，以次结竟至尾云。”这里谈到了阶级龙窑的结构和装烧过程，是我国古代关于龙窑结构较早且较为详明的记载；明、清时期出现过多部关于陶瓷的专著，但很少像《天工开物》这样，如此详明地述说陶瓷工艺的。

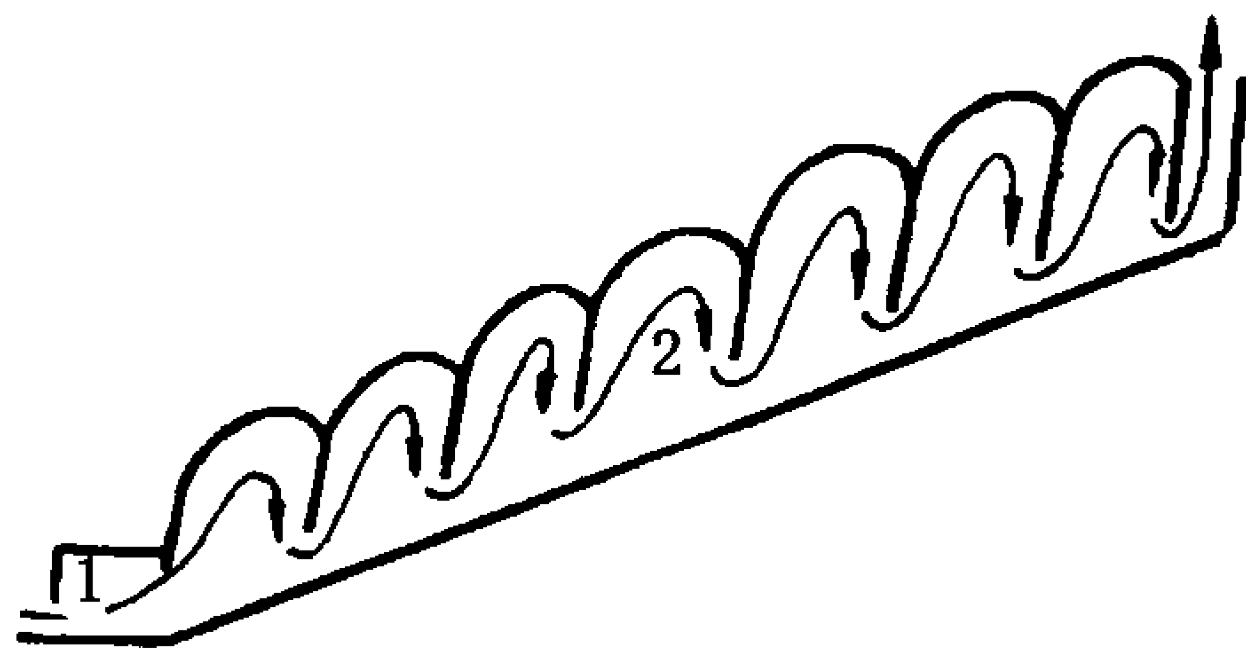
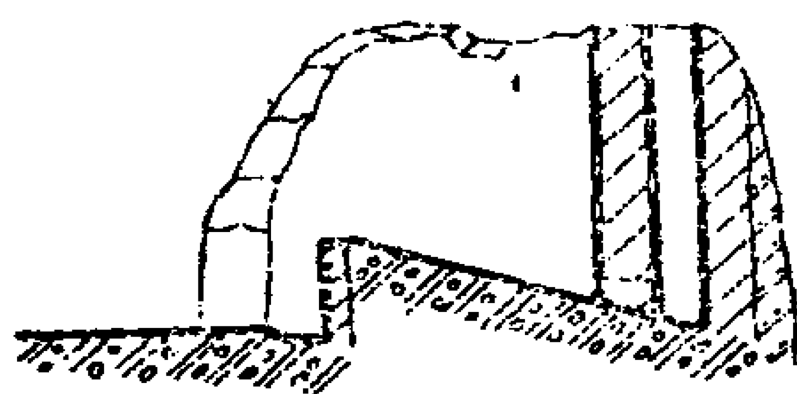



图 8-3-6　阶级式龙窑火焰流向示意图
1. 火膛　2. 窑室
采自文献[40]

景德镇窑形演变情况较为复杂，这主要是为了适应胎、釉技术的发展和不同需要而造成的；大凡从五代到宋，主要烧龙窑；元、明发展了葫芦窑[44]；明洪武至永乐时期主要使用葫芦窑，宣德及其之后主要采用馒头窑。但明御器厂对葫芦窑和馒头窑都作了不少改进。元代葫芦窑的窑体较长，后室左右两壁略外弧；明御器厂葫芦窑的窑体则较短，且后室变窄，左右两壁平直，略向外撇。明代以前的馒头窑一般稍长，窑床前高后低，多为两个烟囱；明御器厂馒头窑之窑长一般不过 4 米，宽约 2 米，窑床平齐，设置一个长方形大烟囱[43]。1977 年，乌泥岭顶出土明代中期马蹄窑 1 座，长 2.95 米，宽 2.5～2.7 米，依然采用前高后低的结构，倾斜 12.5 度（图 8-3-7）[42]；2004 年，珠山南麓清理馒头窑 14 座，大体属于宣德至万历时期[43]。龙窑在景德镇亦长时期沿用，如东河流域的民窑场，主要烧造生活日用器皿，从宋、元一直沿用到了明、清，皆主要使用龙窑[44]。



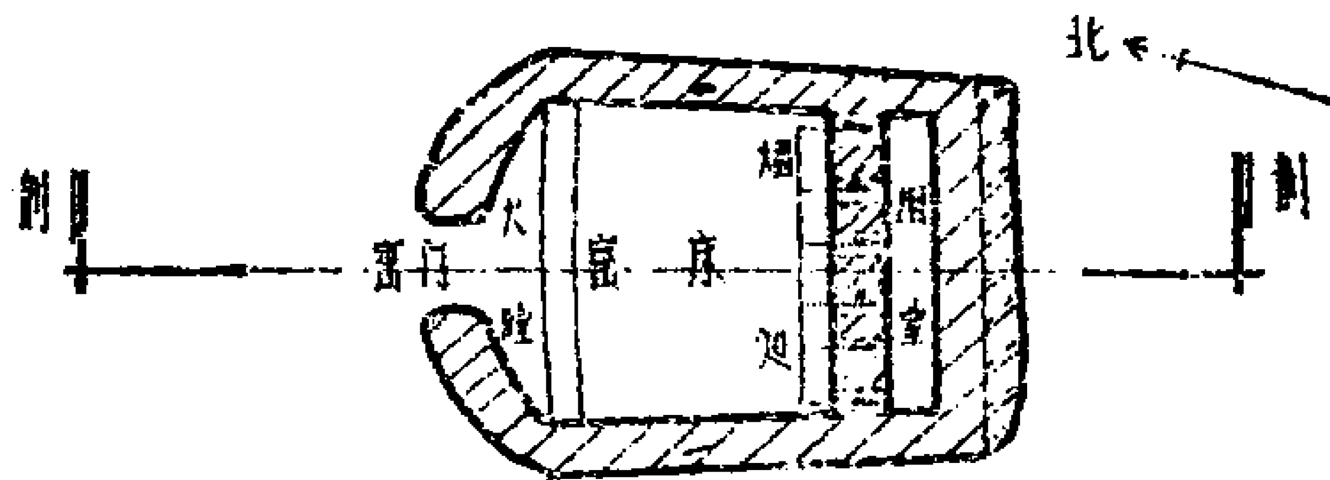


图 8-3-7　明代中期乌泥岭马蹄窑
采自文献[42]

（三）关于倒焰窑的讨论。因考古发掘的古代窑炉往往破损较剧，加之缺乏文献记载，故学术界对我国古代陶瓷工艺是否存在倒焰窑之事一直未能定论。在古陶瓷研究中，有两处窑址：即前云淄博磁村北宋瓷窑和南京聚宝山明代琉璃窑，都曾有学者称之为倒焰窑，其实两者皆未达到全倒焰的状态，大体上依然属半倒焰窑。聚宝山琉璃窑发掘于 1959 年，计一排 6 座，马蹄形、全为砖砌，由窑门、火床（燃烧室）、窑室（加热室）、烟囱 4 部分构成。窑门内为燃烧室，其面积约

占整个窑腔面积的1/3。燃烧室的底部与窑门下限相平，距窑顶拱脚约2.2米。加热室径约3.0米，有砖砌的拱形窑顶，其底部高于燃烧室底部66厘米。整个窑室底部都设有吸火孔道，此孔道由上下两层砖直交砌成，每层砖就如一条条地塄，并构成一条条吸火道；砖高皆12厘米，砖距皆6厘米，吸火道横断面为12厘米×6厘米。窑壁间亦留下空隔，并形成环壁吸火孔道。烟囱置于窑室后部，与窑门相对；下层火道直对烟囱底部，并与之相连。断代为明洪武初年[41]。第六章第三节谈到了倒焰窑结构的两个技术要点，与北宋磁村窑同样，此聚宝山琉璃窑也只具备了第二点，其吸火道满布窑底，对改善火焰流向及其分布状态都有良好作用，但尤为重要的第一点，即加热室与燃烧室间的挡火墙并未具备，故高温火焰流进入加热室后，依然有一小部分要横向穿过窑室，而未能达到“全倒焰”的状态。其与磁村窑的区别是，磁村窑的烟气是经由窑壁侧墙才进入烟道和烟囱的，此聚宝山明代琉璃窑却是经由窑底的烟道进入烟囱的，但两者的吸火孔都置窑底，故其高温火焰流的分布状态大体一致。它们都是古代窑址中，高温火焰流分布较为均匀，最接近于“全倒焰”的陶瓷窑。

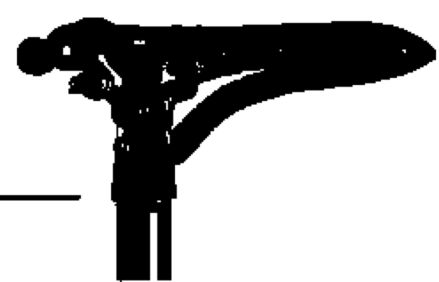
（四）明代瓷器装烧技术

在现有文献中，关于瓷器装烧的详细记载是到了明代才看到的。看来这与造纸印刷术的发展，与社会观念的变化都有一定关系。

《天工开物》卷七“陶埏·白瓷”条在谈到葫芦窑的瓷器装烧时说：“凡瓷器经画、过锈之后，装入匣钵（装时手拿微重，后日烧出，即成坳口，不复周正）。钵以粗泥造，其中一泥饼托一器，底空处以沙实之。大器匣装一个，小器十余共一匣钵。钵佳者装烧十余度，劣者一二次即坏。凡匣钵装器入窑，然后举火。其窑上空十二圆眼，名曰天窗。火以十二时辰为足。先发门火十个时，火力从下攻上，然后天窗掷柴烧两时，火力从上透下。器在火中，其软如棉絮；以铁叉取一，以验火候之足。辨认真足，然后绝薪止火。共计一杯工力，过手七十二，方克成器。其中微细节目尚不能尽也。”这里详细地谈到了瓷器装烧的全过程。其中最值得注意的有三点：（1）瓷器需装入匣钵，这是南朝以来瓷器装烧技术上的一项重要措施。（2）指出了“火力经下攻上”和“火力从上透下”的流向，此当是一种热效率很高的半倒焰窑。（3）使用了检验火候的“火照”。可见它在操作上是十分讲究、要求很高的。葫芦窑较龙窑为小，火候、气氛便于控制，故在景德镇沿用了很长一个时期。

**七、制瓷技术之外传**

世界上绝大多数古文化民族都经历过生产陶器的阶段，但并不是任何一个地区和民族的制陶技术都能自然演变为制瓷技术，这不但与资源，而且与人文条件都有一定关系。瓷器是我国人民的一项杰出创造。从现有资料看，至迟唐代，我国的青瓷、白瓷器便传到了亚洲和非洲的许多地方；至迟明代，我国制瓷技术便开始外传。大约15世纪，在我国影响下，朝鲜烧出了青花瓷，越南则聘请中国工人，也在此时烧出了青花器；15、16世纪，日本开始大规模烧造青花器。大约14、15世纪，埃及也利用本地瓷土仿制了中国青花器；16世纪初，中国技师已在波斯的伊斯伯罕烧造瓷器，之后并向叙利亚等地辐射传播。大约1470年，意大利人从



阿拉伯人处学到了中国的制瓷术[37]，之后逐渐传到了欧洲其他地方。使亚洲、非洲、欧洲的许多地区都先后掌握了制瓷技术，从而为世界技术史、文化史作出了杰出的贡献。

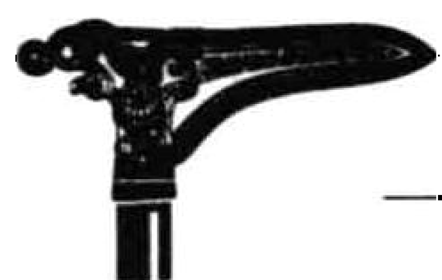
## 第四节　棉织技术的全面推广和丝织技术之继续发展

明代是我国纺织技术史上一个重要的转变期，此前我国纺织业一直是以丝麻为主的，此后遂进入了棉织为主的阶段。此时也是我国古代纺织技术的一个全盛期，纺织品的产量、质量和花色品种都有了很大的提高和扩展，从而在较大程度上较好地满足了社会各阶层的不同需要。

明代统治者一直较为注重桑麻棉的种植。早在朱元璋为吴国公时，便于龙凤十一年（1366 年）明确规定了桑麻棉的种植数量："凡民有田五亩至十亩者，栽桑、麻、木棉各半亩；十亩以上倍之。不种桑罚每年出绢一疋，不种麻及木棉罚出麻布、棉布各一疋"[1]。洪武元年（1368 年）便把这一规定推广到了全国，并规定了科征数量："麻亩征八两，木棉亩四两；栽桑以四年起科"[2]。这显然是为了恢复生产，增加赋税收入而采取的一种强制性措施，但客观上却有力地推动了新兴的棉纺技术和传统的桑、麻技术的发展。由于朝廷的提倡，棉花种植迅速在全国范围推广开来。棉布不但成了国家贡赋的重要物品，也成了大众衣料的主要来源。徐光启《农政全书》卷三五"蚕桑广类·木棉"引丘濬《大学衍义补》云："自古中国布缕之征，惟丝枲二者而已，今世则又加以木棉焉……则是元以前，未始以为贡赋也……至我国朝，其种乃徧布于天下，地无南北皆宜之，人无贫富皆赖之，其利视丝枲盖百倍焉。"正说明了此意。

随着棉植业的发展，中原的河南、山东及长江中下游一带，形成了两大重要的产棉区，后者还成了全国最大的棉纺中心。如河南，南阳李义卿"家有广地千亩，岁植棉花。收后载往湖湘间货之"[3]。如山东，其"登莱三面距海，宜木棉，少五谷"[4]。如江苏，嘉定"地产棉花……种稻之田不能什一"，"其民独托命于木棉"[5]。《天工开物》卷二"乃服·布衣"说得亦较明白："凡棉布，寸土皆有，而织造尚淞江，浆染尚芜湖。"此前两句说明了全国棉布广泛使用的情况，后两句则说江南成了全国的棉花纺织印染中心。丝麻业则被压缩到了较为狭小的地带。宋代之后，丝绸业重心便从北方移到了南方。明时，四川一带的丝绸业已经衰退，太湖一带成了全国最大的丝织业中心[6]。艺术性较强的高级提花织物获得了空前的发展，并生产了许多饰纹富丽、雄浑的产品。张瀚《松窗梦语》卷四载："总揽市利，大抵东南之利，莫大于罗绮绢纻，而三吴为最。"这在一定程度上反映了三吴的实况。

此期纺织技术的主要成就是：棉花初加工中发明了脚踏式搅车和悬掉式弹棉机；蚕业中采用了方格簇；缫丝操作中总结出了"出水干"操作法，发明了竹针眼导丝法；织机技术更为完善，织出了漳缎、双面绒、妆花缎等名贵织物，并出现了一种名为"改机"的织品；使用了猪胰漂练法；在红花饼制作中创造了"青蒿覆一宿"的杀菌处理等；各项染色工艺都更加成熟起来。





## 一、原料准备和初加工技术的进步

### （一）棉花初加工技术的进步

我国古代棉花纺纱前的初加工主要包括三项操作，即搅棉、弹棉和卷筵。前两项在明代的进步都十分明显。

脚踏式搅棉车的发明。去除棉子的方法，最初是以铁杖赶之，至迟元代便发明了手摇搅车。因手摇搅车需三人操作，不但劳动强度大，而且不易配合，至迟明代，又发明了脚踏式搅车。

在现有资料中，较早图示脚踏式搅车的是初版于崇祯十年（1637 年）的宋应星《天工开物》卷二“乃服·布衣”（图 8－4－1，左），但其文字说明甚简，云：棉花“粘子于腹，登赶车而分之，去子取花”。但其图却十分清楚地展示了一个脚踏机构：赶棉工以右脚踩动踏板，通过绳索和曲柄，带动碾轴转动；左手向相反的方向摇动另外一根辗轴；右手则向两转轴间喂棉。

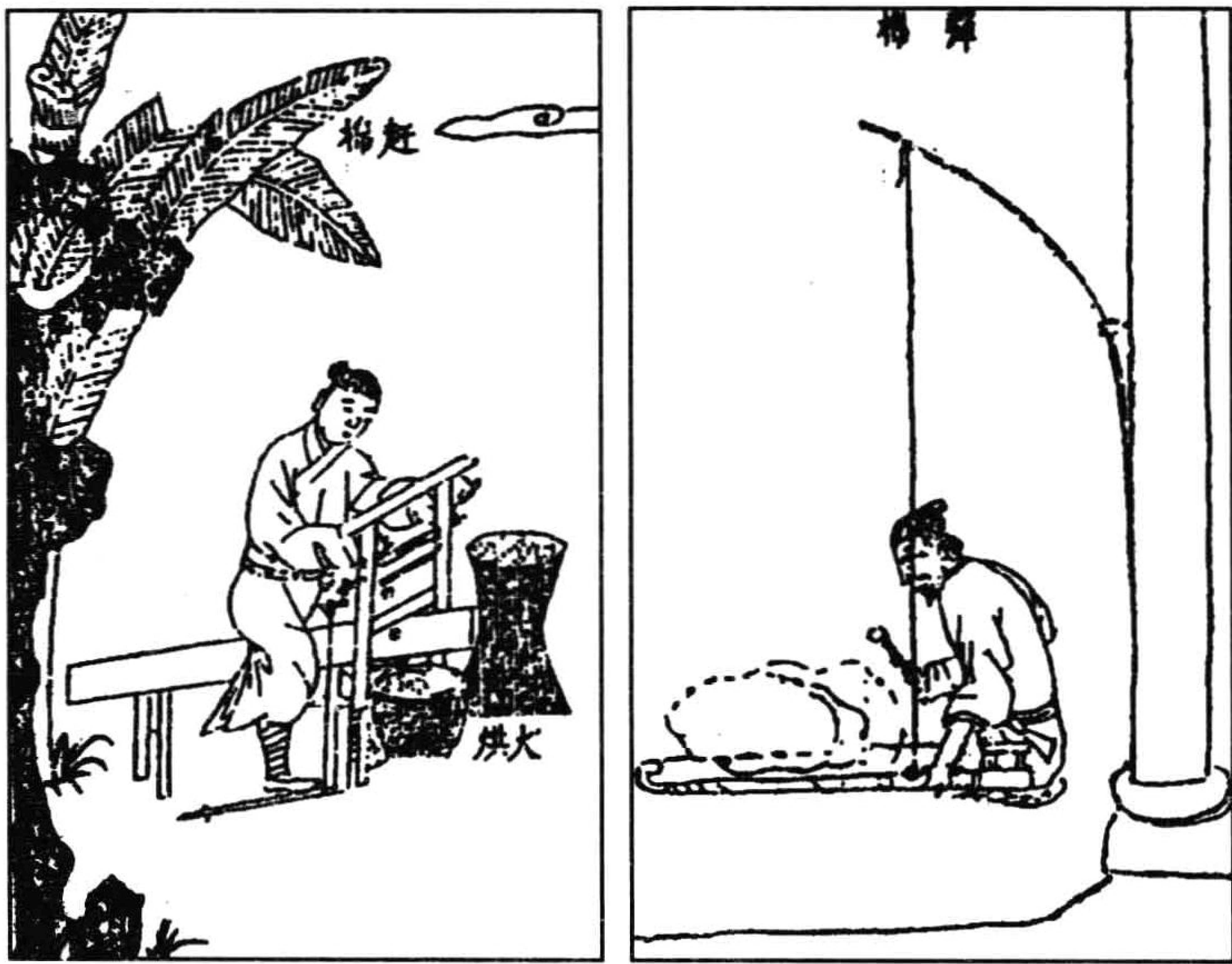
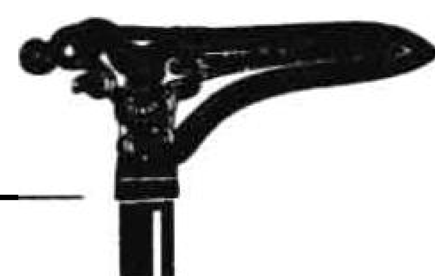


图 8－4－1　《天工开物》所示“赶棉”图和“弹棉”图

关于脚踏式搅车较为详细的文字说明始见于《太仓州志》，其云：“轧车，制高二尺五寸，三足（?）。上加平木板，厚七八寸，横尺五。直杀之板上，立二小柱，柱中横铁轴一，粗如指；木轴一，径一寸。铁轴透右柱，置曲柄；木轴透左柱，置圆木约二尺，轴端络以绳，下连一小板，设机车足。用时右手执曲柄，左足踏小板，则圆木作势，两轴自轧。左手喂干花轴罅，一人日可轧百十斤，得净花三之一。他处用碾轴或搅车，惟太仓车式一人当四人。”此“轧车”，即王祯之谓“搅车”，陶宗仪之谓“捍”车，宋应星之谓“赶车”。这里详述了太仓式脚踏搅车的结构和基本操作。左足踏小板，通过踏板和络于轴端的绳索传动，便可带动轧车之轴转动。可惜原文无图。《太仓州志》的成书时间待考，今引自《钦定古今图书集成》“考工典”卷二一八（康熙四十五年，即 1706 年成书）。因明末徐光启（1562～1633 年）《农政全书》（初版于 1639 年）卷三五在谈到“木绵搅车”





时，也提到过太仓式木棉搅车，故我们推测《太仓州志》所记木棉搅车的年代，亦应在明代末年之前。

当然，关于脚踏式搅车的发明年代，现今依然是了解得不太具体的。王祯《农书》（1313 年成书）所载为手摇式搅车，陶宗仪《辍耕录》（1367 年成书）却提到了“踏车”一词，看来，并不能完全排除此“踏车”即脚踏式搅车的可能性。若此说成立，脚踏搅车的发明时间便可上推到元代末年。

在讨论明代木棉搅车时，《农政全书》的有关文字和插图是需要讨论一下的。该书卷三五谈到过两种“木绵搅车”：一是手摇式，其文字与王祯《农书》基本一致，这是该书“木绵搅车”条的主要部分。二是脚踏式，这是该条最后以“玄扈先生曰”的形式提出的；原文为：“玄扈先生曰：今之搅车，以一人当三人矣。所见句容式，一人可当四人；太仓式，两人可当八人”。对这两种脚踏搅车的具体结构，玄扈先生①均未做进一步说明。两种搅车只附有一幅插图。现在的问题是：在今较为流行的《农政全书》三个本子中，同一幅“木绵搅车”图却有两种不同的形态。《钦定四库全书》本、中华书局本的插图仍为手摇式[7]；上海古籍出版社本的插图却是脚踏式的[8]。这是一个不太和谐的现象。现今纺织史研究者多引用上海古籍出版社本[9][10]。那么，《农政全书》木棉（绵）搅车的原图，到底是手摇式还是脚踏式？这是需要辨别一下的。

经查，徐光启《农政全书》初版于崇祯十二年（1639 年），是在陈子龙的私宅平露堂刊印的，世称“平本”，今世犹存。《钦定四库全书》中也收有《农政全书》，其依据未曾细查，可能是“平本”，也可能是某种手抄本，其“提要”作于乾隆四十六年（1781 年）。19、20 世纪时，《农政全书》又曾多次出版。中华书局本是由中国农业遗产研究所校刊的，1956 年出版；校订办法是：“主要依照平本，遇有平本显然有错误，而‘黔本’（1837 年贵州粮署刊）或‘曙本’（1834 年上海王寿康刊）的修改较胜的，则依照‘黔本’或‘曙本’改正”。可见，中华书局本，以及《钦定四库全书》本都基本上保持了该书的原貌。图 8－4－2 便是“平本”所载“木绵搅车”图，为手摇式，与其正文之原意相符，与元王祯《农书》所载基本一致。上海古籍出版社本出版于 1979 年，其校订办法是：“用‘鲁本’原书剪贴，

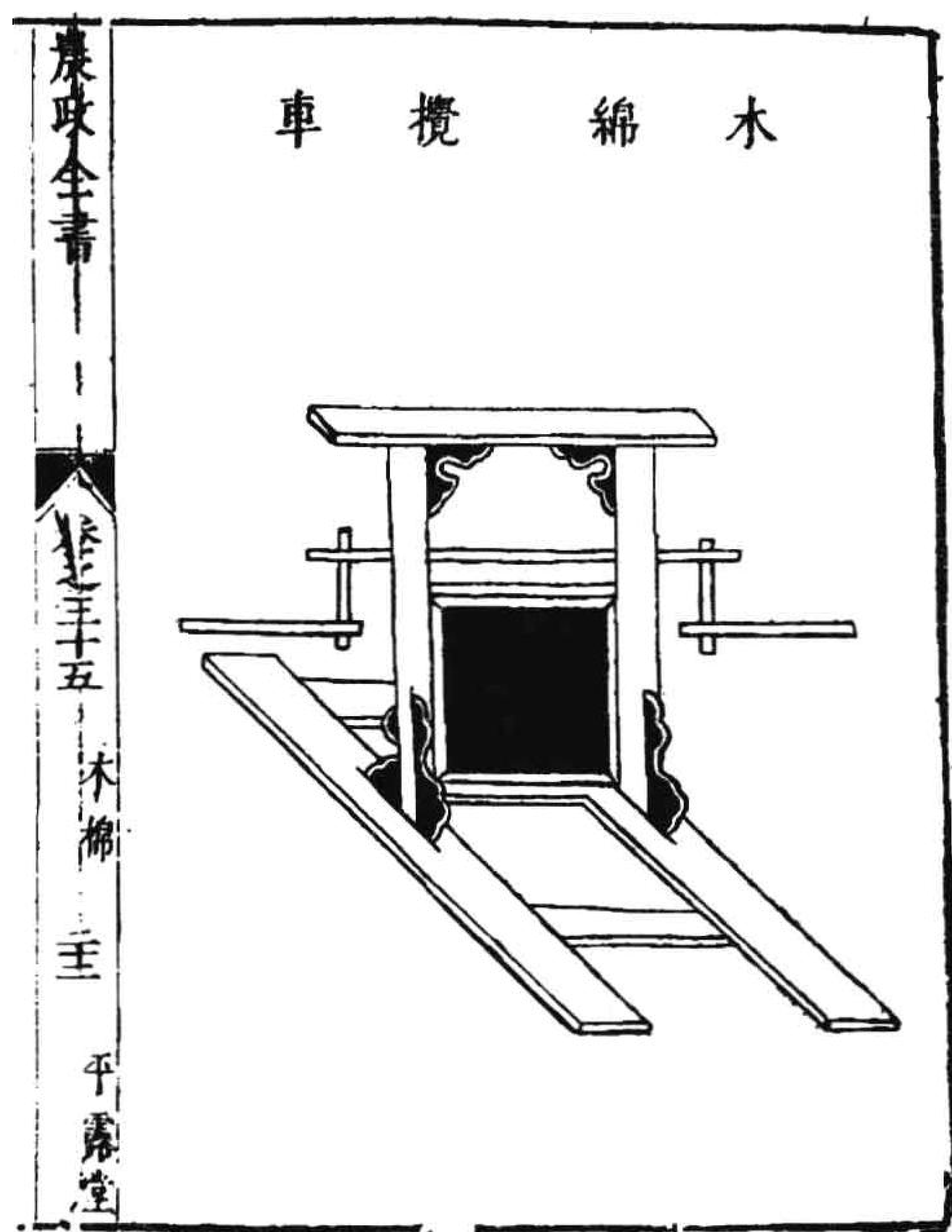



图 8－4－2　平露堂本《农政全书》所载“木绵搅车”图

① 徐光启自号“玄扈先生”，在《农政全书》中，他常以“玄扈先生曰”来强调自己的见解。扈、农桑候鸟，借作农官，传说少皞时代主管农事的官名叫九扈。《左传》召公十七年：“九扈为九农正。”

以平本为基础……版本间的差别，则择善而从”。此所谓“鲁本”，是同治十三年（1874年）山东书局依黔本复刻的，复刻时有一些变动，如重绘了木棉搅车，从手摇式改成了脚踏式等。现在，问题便大体明白了：问题原来出在“择善”二字上；上海古籍本的脚踏式搅车图，是从“鲁本”剪贴过来的，而“鲁本”脚踏搅车却是自绘的，并非“平本”原图。所以，“鲁本”、“上海古籍本”，以及今世部分学者引用的脚踏式木棉搅车图，其优点是反映了明代的最新发展水平，不足处是与原著不符。

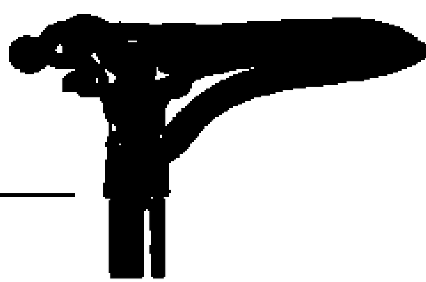
悬吊式弹花机的出现。弹松棉花的方法，宋前无闻，宋代使用了小竹弓，元代之弓虽有增大，但依然是竹弓；明代弹棉弓有了两点改进，一是使用了木弓，更为宽大；二是改成了悬吊式，更为省力。徐光启《农政全书》卷三五“蚕桑广类·木棉”云，木棉弹弓，“今以木为弓，蜡丝为弦”。宋应星《天工开物》卷二“乃服·布衣”，棉花以赶车去籽后，“悬弓弹花”。若只“为挟纩温衾者，就此止功”。若需织布，则“弹后以木板擦成长条，以登纺车，引绪纠成纱缕”。其棉花弹弓悬吊在弯竹顶端（图8-4-1，右），从而省去了弹棉人举弓之劳。

（二）对棉花分类有了较深认识

至迟两汉时期，人们对棉花便有了一定的接触和了解。之后，有关记载一直不断，及至宋末元初，棉花终于在中原地区广泛地种植起来。明代晚期时，人们对棉花的栽培技术和认识水平，都有了较大提高。

经过300多年的栽培后，在人为的和自然条件的作用下，内地棉花遂衍生出不少新品种。徐光启《农政全书》卷三五“蚕桑广类·木棉”条载：“中国所传木棉，亦有多种，江花出楚中，棉不甚重，二十而得五，性强紧。北花出畿辅、山东，柔细，中纺织，棉稍轻，二十而得四、或得五。浙花出余姚，中纺织，棉稍重，二十而得七。吴下种，大都类是。”接着，徐光启还说有数种稍异者：一曰黄蒂穰，一曰青核，一曰黑核，一曰宽大衣，一种曰紫花[11]。这是我国古代对棉花的较早分类，这一方面说明了棉花栽培和驯化技术的发展，另一方面也说明了人们对棉花认识水平的提高。

宋、元时期由闽广传入中原的木棉，其始应当是多年生的灌木、小乔木类，但也不排除有一少部分为一年生灌木棉的可能性。但不管哪种，一旦进到纬度稍高处，如福建北部、广西北部，很快便会由多年生蜕变为一年生植物。往日有学者主张它原是一年生灌木棉[12]，也有学者认为它是多年生树棉[13]，其实这并无太大区别。多年生木棉古时在华南[14]和闽南，都是比较普遍的，早到商代[15]，晚到明代，及至近现代都可看到。明王世懋（1536～1586年）《闽部疏》（1585年，不分卷）载：“昔闻长老者言，广人种绵花，高六七尺，有四五年不易者，余初未知信。过泉州至同安、龙溪间，扶摇道傍，状若榛荆，迫而视之，即绵花也。时方清和，老干已着瘦黄花矣。然不可呼为木棉，木棉花者……吴中所谓攀枝花也。”[16]王世懋，明代中期曾任福建提学副使。这是明时闽广一带曾有多年生树棉之证。据调查，我国近代在云南开远还见过生长近20年的木棉，高一丈以上，主茎粗8厘米，棉树蜿蜒地上，分枝繁密，年产籽花6斤左右[17]。直到20世纪50年代，闽南还有多年生亚洲棉[14]。在此还值得注意的一点是，王世懋同时使用了



"棉"字和"绵"字，并把世俗所谓"棉花"称为"绵花"，而认为"木棉"即攀枝花，与其他学者稍有不同。

关于"木棉"（棉花）与攀枝花的关系，往昔的文献因记述较简，经常混淆不清。直到明代末年，人们才更好地将之区分开来。明末清初屈大均（1630～1696年）《广东新语》卷二五"木语·木棉"条对攀枝花的性态作了较好的描述："木棉，高十余丈，大数抱，枝柯一一对出，排空攫拏，势如龙奋。正月发蕾，似辛夷而厚，作深红、金红二色；蕊纯黄六瓣，望之如亿万华灯，烧空尽赤。花绝大，可为鸟窠；尝有红翠、桐花凤之属藏其中。""子大如槟榔，五六月熟；角裂，中有绵飞空如雪。然脆不坚韧，可絮而不可织，絮以褥以蔽膝，佳于江淮芦花。或以为布曰緤，亦曰毛布。可以御雨，北人多尚之。绵中有子如梧子，随绵漂泊，著地又复成树。树易生，倒插亦茂；枝长每至偃地，人可手攀，故曰攀枝。其曰斑枝者，出以枝上多苔文成鳞甲也。南海祠前，有十余株最古，岁二月，祝融生朝，是花盛发，观者至数千人。""花时无叶，叶在花落之后；叶必七，如单叶茶；未叶时，真如十丈珊瑚，尉佗所谓烽火树也。"可见，屈大钧所说"木棉"，实即是攀枝花；因人可攀枝，故曰"攀枝"；因枝上多苔文成鳞甲，又名"斑枝"。再结合前面各章所云，木棉花与攀枝花性态之别便可归结如下：（1）攀枝花高达十丈余，枝柯一一对出；而木棉花高仅丈余，或说七八尺，且分枝不广。（2）攀枝花之"绵"脆而不坚，是难用纺车纺纱的；只可用手工接绩、纺坠加捻的方法缉织成布。木棉花的纤维性柔，具有良好的纺织性能和吸湿性能。（3）攀枝花二月开花，先花后叶，五六月子熟。木棉花则入秋开花，先叶后花，秋后子熟。这三点，对我们分辨古代文献经常看到的"木棉"一词的真实含义，是有一定帮助的。

在此有一点需要说明的是：在明代，人们对"绵"、"棉"二字还是区分得不太清楚的，在同一部书的同一卷，及至同一段内，也有二字兼用的现象[21]。看来这主要是棉花技术刚刚开始推广，人们的认识依然滞后的缘故。

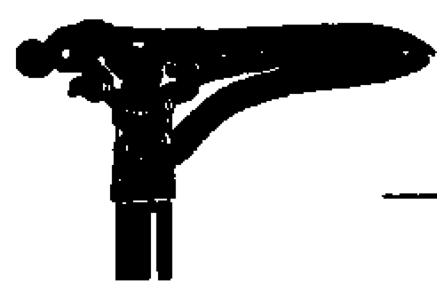
（三）苎麻脱胶技术

前引元王祯《农书》曾较为详细地记述了苎麻脱胶的整个工艺过程，明宋应星《天工开物》卷二"乃服·夏服"又对此作了一些补充，其云："凡苎皮剥取后，喜日燥干，见水即烂。破析时则以水浸之，然只耐二十刻，久而不析则烂。苎质本淡黄，漂工化成至白色（原注：先用稻灰、石灰水煮过，入长流水再漂，再晒，以成白色）"。显然这也是"水浴日曝"的工艺，也谈到了石灰水煮过，但此更强调只宜浸二十刻，且须长流水。王祯和宋应星都较为重视苎麻，看来与其生产和使用量是有关的。《天工开物·夏服》曾云："凡苎麻，无土不生。"

（四）养蚕技术的发展

这主要表现在两个方面：一是利用杂交优势，培育出了新的优良品种，并在预防蚕的传染性疾病上，有了一套行之有效的措拖；二是采用了方格簇，推广了"炙箔"技术[18]。这在宋应星《天工开物》等书中都有明确记载。

《天工开物》卷二"乃服·种类"载："凡茧色，唯黄白两种，川、陕、晋、豫，有黄无白，嘉、湖有白无黄；若将白雄配黄雌，则其嗣变成褐茧。""今寒家有将早雄配晚雌者，幻出嘉种。"这里谈到了两组杂交，一是吐白丝的雄蚕与吐黄





丝的雌蚕，杂交得到吐褐丝的新品种；二是雄性早蚕与雌性晚蚕，杂交得到嘉种，即良种。这是中外蚕业中，关于家蚕杂交的最早记载。显然，这种改良，对于提高蚕丝产量和质量，都具有十分重要的意义。在国外，关于家蚕一代杂种的学术研究是1900年由日本学者开始的，1906年开始发表，1914年开始推广[19]。

早在先秦时期，人们对蚕病便有了一定的认识，此认识在明代又有了进一步提高，尤其是常见的家蚕软化病和僵病，在对发病特征有了清楚认识的同时，还探索出了一套行之有效的处理办法。

《天工开物》卷二“乃服·病症”载：“凡蚕将病，则脑上放光，通身黄色，头渐大而尾渐小，并及眠之时，游(原作遊)走不眠，食叶又不多者，皆病作也，急择而去之，勿使败群。”此即常说的“软化病”。文中简明地说到了疾病的基本特征和处理方法，即“急择而去之”。这是世界上关于家蚕传染病及其处理方法的最早记载[19]。

《天工开物》卷二“乃服·养忌”载：“若风则偏忌西南，西南风太劲，则有合箔皆僵者。”这里说到了西南风与僵病的关系，故应忌之。汪子春曾对此作过不少研究，认为西南风使蚕致病的原因主要有三：（1）西南风多湿，影响蚕的正常生理代谢，降低了其对疾病的抵抗能力。（2）温度稍高，湿度稍大的西南风，有利于僵菌繁殖。（3）风的机械作用亦有利于僵菌的传播[18]。

“方格簇”和“炙箔”都是提高蚕丝质量和产量的重要措施。明万历年间出版的《便民图纂》卷二载有一幅“方格簇”图，将蚕簇做成大小均等的方格；蚕作茧时，一茧只占一格，所有茧子基本上大小相仿，便提高了茧的质量。“炙箔术”始见于前引北魏贾思勰《齐民要术》卷五《种桑柘》条，工艺要点是：蚕上簇后设炭火微烘，使蚕丝随吐随干，明代又谓之“出口干”[20]。对此，《天工开物》卷二“乃服·结茧”说得较为具体：“其法析竹编箔，其下横架料木，约六尺高，地下摆列炭火（原注：炭忌爆炸），方圆去四五尺即列火一盆。初上山时，火分两略轻少，引他成绪，蚕恋火意，即时造茧，不复缘走。茧绪既成，即每盆加火半斤，吐出丝来，随即干燥，所以经久不坏也。”这套操作自然是人们在长期生产实践中总结出来的。蒋猷龙认为，当熟蚕上簇时，其水分量约占蚕体重的一半，吐丝过程中这些水分都要散发到簇室中，若不加温排湿，则蚕室内湿度过高。这一方面会加速丝胶转化为不溶性 β 态，另一方面延缓丝胶凝固速度，而当一遇干燥条件忽儿凝固时，就会造成各层粘合，缫丝时不易离解[19]。所以，蚕吐丝时，簇中温度偏低、湿度偏大，部分茧质就会产生不良变化，使茧解舒不良，弹性不佳，茧色发黄且无光泽[18]。

（五）缫丝技术的发展

明代缫车主要有两种类型，一种是前世沿用下来的两人共同操作的足踏式缫车，其一人踏轩理绪添头，另一人专事备茧、添茧入锅等；第二种是5人共同操作的连盆式缫车，一人煮茧、两人专打丝头、两人主缫[6]。其中较值得注意的是后者。

《农政全书》卷三一载：“釜俱改用砂锅或铜锅，比铁釜，丝必光亮。以一锅专煮汤，供丝头。釜二具，串盆二具，缫车二乘，五人共作。一锅二釜共一灶门。



火烟入于卧突，以热串盆。一人执爨，以供二釜二盆之水。为沟以泻之，为门以启闭之。二人直釜，专打丝头，二人直盆主缫。即五人一灶，可缫茧（丝）三十斤。胜于二人一车一灶缫丝十斤也。是五人当六人之功。"[22]这便是5人供缫的连盆式操作，其将煮丝与抽丝分开；茧稍经煮练后，即时移入温度稍低的串盆中抽丝；抽丝工作便可从容进行，亦可避免抽丝不及，煮得过热而使丝质受损[6]。

此期的添绪技术更趋娴熟，而且各家作坊都积累了相当丰富的经验。如：《农政全书》卷三一载："添丝（今俗谓之添绪）搭在丝窝上便有接头，将清丝用指面喂在丝窝内，（使丝）自然带上去，便无接头也，此名全缴，丝圆紧无疙疸，上等也。"[22]《天工开物》卷二"乃服·治丝"条还谈到了一种"出水干"操作法："丝美之法有六字：一曰'出口干'，即结茧时用炭火烘。一曰'出水干'，则治丝登车时，用炭火四五两，盆盛，去车关五寸许。运转如风时，转转火意照干，是曰'出水干'也（若晴光又风色，则不用火）。"这样，生丝随缫随干，丝质既柔软坚韧，又白净晶莹；同时还避免了蚕丝间的彼此粘结。明邝璠《便民图纂》卷四载："缫丝之诀在细、圆、匀、紧，使无褊、慢、节、核，麄恶不均。"

明代对缫丝机构也做了一些改进。如其集绪眼由往日的铜钱眼改成了"竹针眼"，以为导丝用。明代以前，缫丝车的煮茧锅上皆放一块木板，木板中间插一个铜钱，使丝绪通过钱眼而上。明代将导丝眼改成竹针眼后，丝可从豁口进入，就避免了穿过线眼的麻烦。《天工开物》卷二"治丝"所述甚详。此"竹针眼"实际上是现代导丝钩的雏形[6]。

**二、棉纺技术的发展和麻纺业的衰减**

（一）木棉纺车的发展

元代已使用了三锭脚踏式棉纺车[23]，明时，此技术得到了进一步推广，操作上亦更为熟练。

宋应星《天工开物》卷二"乃服·布衣"条在谈到棉纺车时说："凡访（纺）工能者--手握三管，纺于铤上（原注：捷则不坚）。"此说凡纺工，能者使用三锭棉纺车。直到20世纪50年代，这种纺车在许多地方仍有使用。

《农政全书》卷三五"蚕桑广类·木棉"载："木棉纺车，其制比麻苎纺车颇小。夫轮动弦转，筟维随之。纺人左手握其棉筒不过二三，续于筟维，牵引渐长，右手均撚。俱成紧缕，就绕维上。"此说纺人用二锭或三锭棉纺车。

明末清初方以智《物理小识》卷六"纺车"条也有相类的记载："一铁一木，转圆相背，则棉花出其子矣；弦弹碎而版赶为条，乃置车轮踏之；以铁锭插芒梗，纺丝则缕积矣。有纺双缕者，有一手钩三线者、省用天梯者。松江、徽、池、台州，九江皆能之。"这前几句是说轧花、弹花、卷筵，后几句说的是棉花纺纱，说松江等许多地方都能纺二锭、三锭，说明先进纺纱技术在明末业已推广。

又，徐光启《农政全书》卷三五"蚕桑广类·木棉"还谈到过四维、五维纺车："纺车容三维，今吴下犹用之。间有容四维者，江西乐安至容五维。往见乐安人于冯可大所道之，因托可大转索其器，未得。更不知五维向一手间，何处安置也。"此说棉纺车中有的可容四维，江西乐安有容五维者。对此"五维"，徐光启是有怀疑的，今世学者认为它可能指麻纺车[24]。我们认为，五维棉纺的可能性还

是存在的，手有五指，合在一起时正好有五个间隔，每个间隔可夹一支棉条。因操作起来十分困难，非绝顶高手恐不能为之，故才使徐光启感到惊奇。清嘉庆《松江府志》卷六“物产·木棉花”条载：“善纺者能三维四维为常，两维为下。”[25]此未提到五维。

（二）麻纺业之减退

麻的劈绩自古便是手工操作，迄明仍无大的变化；名噪一时的宋元大纺车，明时亦无大的改进。因大纺车的主要功能是加捻和合股，并无牵引机构，无法完成棉纱牵引的任务。而棉纱通常无须合股，其单纱可直接用于织造，于是这种大纺车与明代普遍植棉的潮流便产生了不适之感。《天工开物》谈到了许多纺织机械，却未言及大纺车，说明其使用范围已经很窄。大约到了清代，这种大纺车才有了较大的改进。

**三、织造技术的发展**

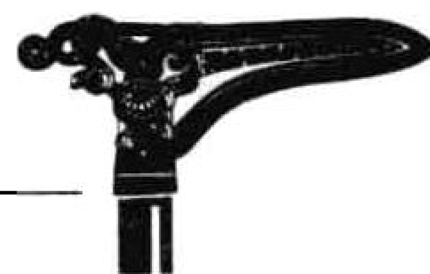
在丝、麻、棉三大织品中，棉麻类主要是用作大众衣料，多为平纹、斜纹或色织，织造和印染技术的复杂程度都较丝织品为低。我国古代纺织技术的各种高超技艺，主要是通过丝织品表现出来的。棉花虽在明代推广到了全国，但其织造机械依然主要是腰机和脚踏式斜织机。丝织业在明代虽受到了很大冲击，但其织造机械却更为完善，印染技术亦空前地繁荣起来。

明代织机种类较多，粗略分来约有三大类：

腰机。主要用来织造平素织物。《天工开物》卷二“乃服·腰机式”载：“凡织杭西、罗地等绢，轻、素等绸，银条、巾、帽等纱，不必用花机，只用小机。织匠以熟皮一方置坐下，其力全在腰尻之上，故名腰机。普天织葛、苎、棉布者，用此机法，布帛更整齐坚泽。”腰机约发明于先秦，但一直沿用下来，历代大约都稍有改进。

改机。明弘治年间福建织工林洪所创。万历《福州府志》卷三七“食货志·物产”载：“民缎机故用五层。弘治间有林洪者，工杼柚，谓吴中多重锦，闽织不逮，遂改机为四层，名为改机。”[26]此“五层”、“四层”，以往多释作五层经丝、四层经丝，最新研究认为，这种可能性是很小的，其实它应指织机的综片数。改机系由缎机改造来的，缎机原使用五片综，林洪将之作了一些改动，织平素产品时，改成了四片综；织提花产品时，再增设提花装置，依纹样设计要求，另加不等的伏综[27]。

花楼提花机。用来织造提花织物。宋应星《天工开物》卷二“乃服”详细地记述了提花机的结构、部分尺寸和安装方法，该卷的“机式”、“边维”、“经数”、“花本”、“穿经”、“分名”、“龙袍”等条都谈到了与提花机有关的内容，其中又以“机式”最为系统。其云：“凡花机，通身度长一丈六尺，隆起花楼，中托衢盘，下垂衢脚（原注：水磨竹棍为之，计一千八百根）。对花楼下堀坑二尺许，以藏衢脚（原注：地气湿者，架棚二尺代之）。提花小厮坐立花楼架木上。机末以的杠卷丝，中用叠助木两枝，直穿二木，约四尺长，其尖插于筘两头。叠助，织纱罗者视织绫绢者减轻十余斤方妙。其素罗不起花纹，与软纱绫绢踏成浪、梅花小者，视素罗只加桄二扇，一人踏织自成，不用提花之人闲住花楼，亦不设衢盘与



脚也。其机式两接，前一接平安，自花楼向身一接斜倚低下尺许，则叠助力雄。若织包头细软，则另为均平不斜之机，坐处斗二脚，以其丝微细，防遏叠助之力也。”（图 8－4－3）

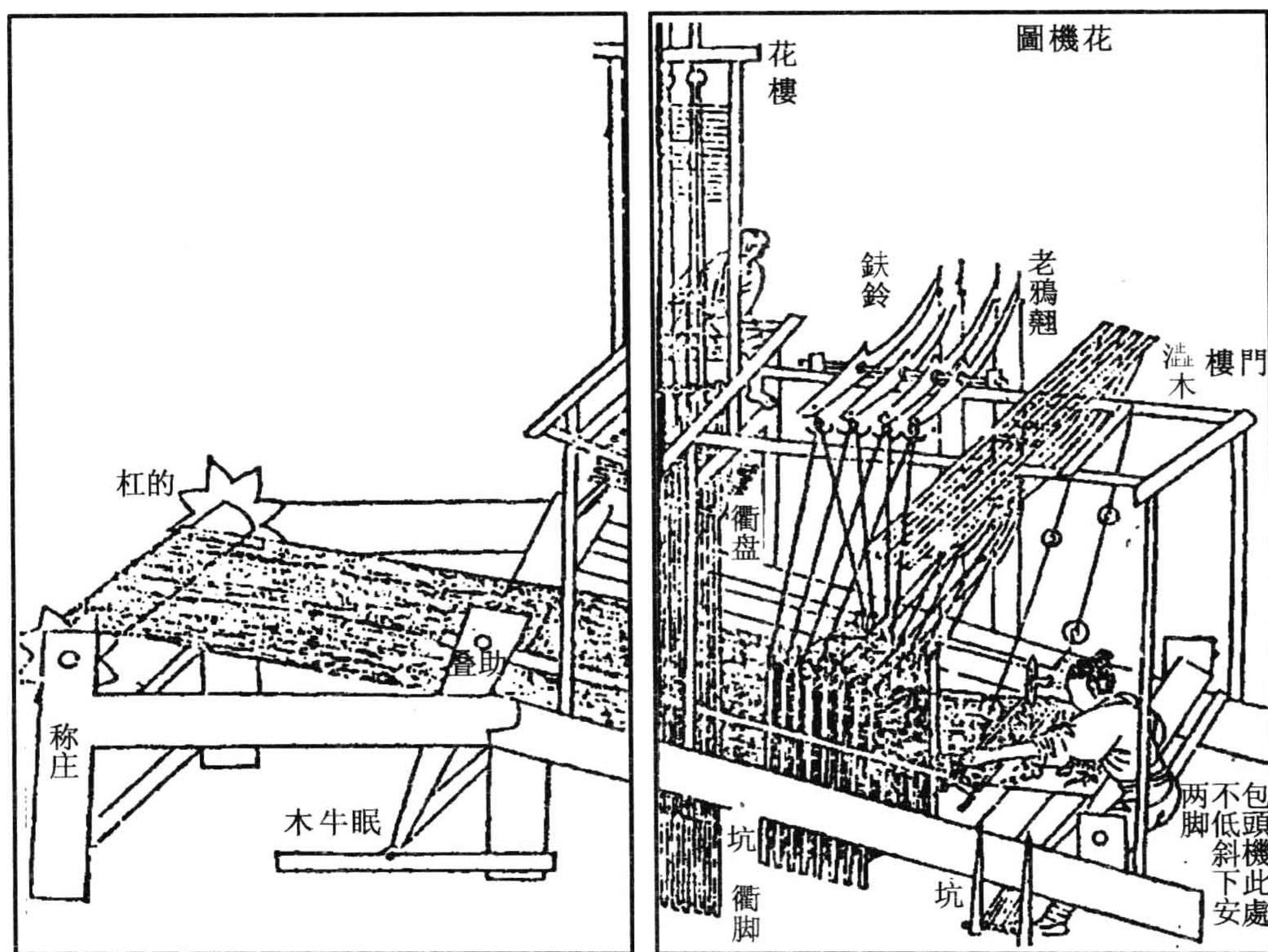
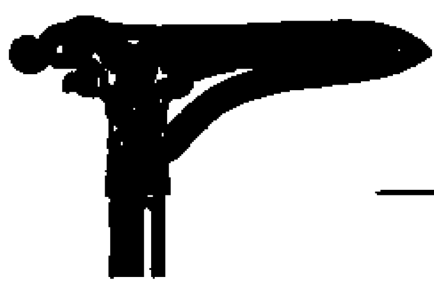



图 8－4－3　《天工开物》所载“花机图”

可见此机式较宋《耕织图》、元《梓人遗制》中的织机皆更为复杂、完善。其前斜后平，分为两节，机身通长 1 丈 6 尺；经面倾斜，两端分别由布轴和经轴卷绕，由于机身较长，有利于提花时经丝的伸长和张力控制。高处为花楼，提花纤垂直而下位于经丝中段。现代织机上的几个基本运动，开口、打纬、卷取、送经，图中都有反映。织机运动的一些关键部位，即门楼、涩木、老鸦翅、铁铃、花楼、的杠、称庄、叠助、眠牛木、衢盘、衢脚、坑（机坑）、包头机（此处不低斜，下安两脚）等 13 处，都已一一标明。由其结构可知，这是一种斜身式小花楼提花机，这种织机的主要特点是：（1）织机属斜身式，即其机架主干是倾斜的，从而提高了打纬能力。引文中所云“自花楼向身一接斜倚低下尺许，则叠助力雄”，正是此意。获得力雄之因是：织口处于较低位置时，打纬部件是向下作倾斜运动的，在重力和人力的共同作用下，打纬力就能在瞬间爆发出来。水平织机则无重力帮助，全靠人力打纬。及清，为了提高机身的倾斜效果，以提高打纬力，遂将机腿加到了 3 尺。（2）提花机上出现了机坑、隔幛竹、吊框子、羊角等许多新的部件，结构更为复杂和完善，从而有效地提高了织机的生产能力，并扩充了它的工艺性能，出现了一些新的生产方法。（3）机身斜置，使织工的操作经面呈现一个较好





的斜面，这就便于看清花纹，并便于操作，亦为妆花技术的快速发展创造了良好的条件[28][29]。此提花机既可织提花织物，也可织素罗及小花纹织物。在织造素罗和小花织物时，无须提花楼的提花束综，只需在织机上加两扇综线便可。使用调换叠助木来调节打纬力，便可织出纬密不同的品种。自花楼到机前一段经丝既可倾斜搁置，也可水平搁置。利用这种提花机，运用挑花结本的方法进行提花，便能织出许多绚丽多姿的丝织品来[6][30]。花楼提花是我国古代纺织技术的一项重要技术成就，它把复杂的织机提花讯息用花本的形式贮存并释放出来，通过花楼提花与织造相配合，而生产出精美的织物来。它使一人专司提花，使大型、复杂、多彩织物的出现成为可能[29]。明、清时期，缎类织物、工艺美术类织物皆甚为盛行，与林洪改机及宋应星所述提花机等的使用都是密切相关的。

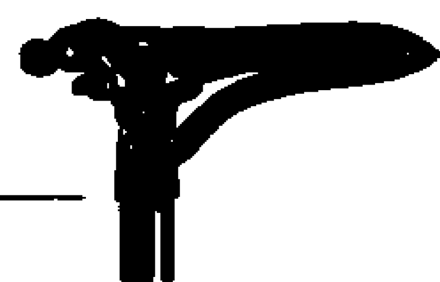
**四、丰富多彩的织物品种**

明代纺织品种类较多，这在文献记载、考古发掘和传世品中都可看到。文献如《天水冰山录》所记，考古实物如定陵所出者[31]，传世品如明刊《大藏经》封裱等，它们都在较大程度上反映了明代纺织技术的先进水平。《天水冰山录》[32]原是明嘉靖间严嵩在其原籍江西分宜的财产籍没之册，其中记有大量衣物、各种纺织品和金银器等。所记各色衣物有：织金妆花缎、绢、罗、纱、细、改机、绒和丝布衣，宋锦刻丝衣、蟒葛衣、洒线裙襕等。明刊《大藏经》封裱有妆花缎、妆花纱、实地纱、亮地纱、暗花缎、暗花丝绒、织金锦和花绫等。定陵出土各种袍料、匹料和服饰等共计644件，有绫、罗、绸、缎、纱、绢、锦、绒、改机、纻丝、织金、各类妆花和缂丝、刺绣等10余类。在今知明代丝织品中，较值得注意的是如下几种：

双面绒。正反两面都布满了绒毛的织物。绒始见于汉，其早期织物除表面起绒外，组织结构和花纹都与经锦相同。迄今为止，只有两个地方出土过双面绒，一是苏州王锡爵的官帽，二即定陵出土的2件双面绒绣龙方补方领女夹衣[31]，正反两面均有高6.5～7.0毫米的褐色绒毛，系万历四十八年入葬（1620年）。其地为平纹组织，经密为68根/厘米，纬密为37根/厘米；经线较细，纬线较粗。完全组织内地经与绒经之比为2:2。绒袍缝成后，背面有衬里，使织物具有良好的保温性能[33]。

漳缎。又谓之花绒，以平纹或缎纹为地，以经起绒构成提花织物。是在元代“怯绵里”（剪绒织物）基础上发展起来的，相传起源于福建漳州而得名[15]。明代晚期南京生产的“金地莲花牡丹云龙漳缎”炕褥，纬二重经起绒组织，以双股拈金线浮纬为背景，朱红色绒毛显花。绒毛挺立而整齐密集，高度约2.0毫米。纹样由五爪龙、四合如意云、缠枝莲花牡丹组成。漳缎和漳绒都属机织起绒类织物，前者属纹织，后者为素织。

妆花缎。是以挖花为主要显花方法的重纬缎地多彩纹织物。约产生于明代早期。最初是在缎地提花织物上挖花妆彩，后来又把这种配色织造的技法用到了纱、罗、绸、绢、绒等不同质地、不同组织的织物上。其织法复杂，花纹秀美，色彩富丽。把我国彩织锦缎的配色织造技术发展到一个新的水平[34]。《天水冰山录》便有大量妆花织物，明《大藏经》封面亦有使用。定陵出土有妆花缎、妆花纱、



妆花绸、妆花罗计4种妆花类织物，是定陵丝织品中最具代表性的品种之一[31]。

改机织物。古人往往又简称为“改机”。因文献记载较为简单，所以在相当长的时期内，人们对改机的织造方法和组织特征都存在许多不同看法，或谓多彩缎，或谓双层提花织物、经二重提花织物，或谓一种特殊的经四重织物。赵承泽等的最新研究认为：（1）改机衍生于缎机，其一方面改缎机的五片综为四片综，另一方面却继续保持高齿密的缎筘；改机织物的地组织必然皆为平纹、斜纹或二者的变化组织。而这类组织在改机出现前便已使用，且均已见于绸类织物，为此，明人又称改机织物为改机绸[35]。1964年江西南城县明墓出土一件衣物疏，其中便有“绿云纹改机紬衬褶一件”字样（原物风化无存）[36]。（2）改机提花产品的地组织则可能有两种情况，凡单层的单色暗花和花纹比较简单的织品，采用平纹、斜纹或二者的变化组织作为地组织；凡花纹色彩变化较多和花回较大的织品，则采用纬二重组织(限于四综的缘故)。花部以纬显花，个别情况下，加施挖梭和抛梭技法。用料多选水丝[35]。(3）改机织物也是一个基础品种，以之为地组织，可织造平素、暗花、织金、妆花、闪色等各类花色品种的织物[37]。同时它也是一系列织造原则相同的丝织物的共称，其密度近于缎而非缎；大都先练后织。其特点并不在于组织、色彩和花回，而是做工和用料更为讲究[35]。我国现存的改机织物皆属明清时期。《天水冰山录》载有改机21种274匹，如大红妆花过肩云蟒改机（3匹）、大红妆花斗牛补改机（18匹）等；另有改机衣4种17件，如青织金妆花孔雀改机圆领（12件）等[38]。

织金织物。其在明代亦较盛行，除加金锦外，还出现了金彩绒、织金妆花缎、织金妆花绢、织金妆花罗、织金妆花丝布等，都突破了元代织金“纳失失”的范围。

今见实物如浙江图书馆藏明“正统特世经卷第一（常七）”封织金罗，在淡绿色的素罗上用扁金线织出花纹，经密为66根/厘米，纬密在罗地处为22根/厘米，织金花处为33根/厘米[30]。1970～1971年，邹县明鲁荒王朱檀墓出土有：(1）织金缎龙袍，身长1.3米、袖长1.1米，米黄色，两肩及胸背上织金盘龙云纹。(2）盘领窄袖金织龙袍，身长1.3米、袖长1.1米、宽0.15米，袍面米黄色，两肩及胸背上绣金织盘龙云纹。此类袍较多[39]。朱檀是朱元璋第十子，薨于洪武二十二年（1389年)。故宫博物院藏有明缠枝花卉纹织金缎，产于南京，其纬片金显花，用一组红色地纹经和一组管片金的接结经，与一组红色地纹纬及一组片金花纹纬交织[40]。《天水冰山录》亦列有大量织金织物，其中包括成衣和丝布，如大红织金妆花过肩蟒罗衣（10件)、青织金妆花丝布（43匹)、青织金仙鹤补丝布（37匹）等。

除此之外，罗织物在明代也得到了较大发展，绫织技术亦更臻完备。《天工开物》卷二“乃服·分名”云：“凡单经曰罗地，双经曰绢地，五经曰绫地。”同卷“花本”条说：“绫绢以浮经而见花，纱罗以纠纬而见花，绫绢一梭一提，纱罗来梭提，往梭不提。”可知明代绫织物已能织出五枚经斜纹组织，比宋代更为复杂。

明时，内地出土的棉织物亦开始多了起来，明初朱檀墓便出土有棉织平纹布单、棉布围裙、浴巾三物[39]。

### 五、漂练和印染技术的发展

（一）漂练技术的发展

元、明两代的丝麻漂练技术都表现了较高的水平，这主要表现在：生物化学脱胶的使用和练液原料的扩展，以及脱胶量的考察上。这在元末明初《多能鄙事》和明代中期邝璠《便民图纂》、明末宋应星《天工开物》等中都可看到。《多能鄙事》的记述前章已有引述。

《便民图纂》卷一六“制造类下·练绢帛”谈到了两种练绢帛法：（1）“先用酽桑灰或豆秸等灰，煮熟绢帛，次用猪胰练帛之法，伺灰水大滚，下帛，须频提转，不可过熟，亦不可夹生，若扭住不散，则帛方熟。”（2）“用胰法。以猪胰一具，同灰捣成饼，阴干。用时量帛多寡剪用。稻草一茎，折作四指长，搓汤浸帛。如无胰，瓜蒌去皮，将穰剁碎，入汤化开，浸帛亦可。”此书刻于嘉靖丁亥（1527年）。这里谈到了两种操作，与《多能鄙事》所述相近。

《天工开物》卷二“乃服·熟练”云：“凡帛织就，犹是生丝，煮练方熟。练用稻稿灰入水煮，以猪胰脂陈宿一晚，入汤浣之，宝色烨然。或用乌梅者，宝色略减。”此谈到了两种漂练、精练法。其练液原料有二：一是稻稿灰和猪胰脂，二是乌梅。说明明代丝帛漂练液用料在元代基础上又有了扩展。由现代技术可知，猪胰内含有多种酶菌，其中的蛋白酶对丝胶蛋白的水解能起到催化作用；且精练可在常温下进行，从而减少了丝体的损害。猪胰酶脱胶所得丝绸，色泽柔和，手感较好，为单纯的碱液脱胶所不及。西欧是到了1857年才开始利用酶剂于纺织品中的。前云《多能鄙事》还说到了瓜蒌脱胶，《天工开物》又谈到了乌梅脱胶，大约同样是利用了蛋白酶的脱胶作用。用动物和植物内的生物酶来为生丝脱胶，是元、明两代丝绸漂练的一项创造。尤其是猪胰练白法，是我国古代丝帛漂练技术上的一项重要成就，并为后世长期沿用[41][6]。

值得注意的事，《天工开物》卷二“乃服·熟练”条还谈到了蚕丝在漂练过程中的脱胶量：“凡早丝为经，晚丝为纬者，练熟之时，每十两轻去三两，经纬皆美好早丝，轻化只二两。练后日干张急，以大蚌壳磨使乖钝，通身极力刮过，以成宝色。”说明当时一化性蚕丝胶量低于二化性蚕，练后脱胶程度约在20%～30%间。这显然是长期实践的结果，与现代练丝工艺亦大体相符[41][6]。

（二）染色技术的发展

我国古代染料种类甚繁，从染料来源上看，可分为植物性染料和动物性染料两大类；从染料性能和染色过程上看，又可区分为直接染料（如红花、郁金等）、媒染染料（如茜草、紫草、苏木、荩草、皂斗、栀子等）、还原染料（蓝草）等；从染色色调上看，又可区分为红、黄、蓝、紫、黑五大类，及至数十种。在明代，这些染料都已具备。

明代染色技术已达较高水平，其色谱较宽。据统计，见于明初《天水冰山录》的色彩有34种，见于明末《天工开物》的服饰颜色便有23种[6]。此两书所记红色计有9种，即红、大红色、莲红、桃红、暗红、银红、水红、木红、西洋红；绿色计有7种，即绿、柳绿、墨绿、油绿、沙绿、官绿、豆绿。其他不再一一引述。明代染料种类亦较多，仅《天工开物》卷三“彰施”所云便有红花、苏木、菘蓝、





蓼蓝、苋蓝、马蓝、木蓝、槐、黄檗、黄栌、莲、栗、杨梅、五倍子等14种。五倍子为动物性染料，其余皆属植物性染料。我国古代动物性染料的发明期尚不十分清楚，有学者将之推到了唐及至三国时期[42]，可以进一步研究。

明代植物性染料在栽培、采集和加工上都积累了丰富的经验。如红花，汉代便已种植，南北朝便已推广，明代红花加工技术有了很大的进步，尤其是制作红花饼前，采用了“青蒿覆一宿”的处理法。此“青蒿”，又叫香蒿，具有杀虫抑菌的作用。《天工开物》卷三“彰施”在谈到“造红花饼法”时说：“带露摘红花，捣熟，以水淘，布袋绞去黄汁。又捣，以酸粟或米泔清又淘，又绞袋去汁，以青蒿覆一宿，捏成薄饼，阴干收贮。染家得法，‘我朱孔扬（阳）’，所谓猩红也。”经过处理后，可防止红花饼因储存变质，而降低染色效果。此最后三句的意思是：如若工匠染色得法，便可染得鲜红的颜色。“我朱孔阳”出自《诗·豳风·七月》。元时无此种操作，王祯《农书》卷一〇“红花”条只说到了“以布盖之”。

明代已掌握了红花染色织物的脱色技术，《天工开物》卷三“彰施·诸色质料”条说：“红花最忌沉、麝，袍服与衣香共收，旬月之间，其色即毁。凡红花染帛之后，若欲退转，但浸湿所染帛，以咸水、稻灰水滴上数十点，其红一毫收转，仍还质。”这与现代科学原理是完全相符的。

明代染色工艺较多，且往往较为简便，仅《天工开物》卷三所云便有复染、酸性染（如红花染色等）、碱性染（黄檗染色等）、还原染（如蓝靛染色等），以及媒染剂染色[43]。该书提到的媒染剂有明矾、皂矾、麻蒿淋碱水、铁砂等。明代的染色牢度也明显提高，在考古发掘和传世品中所见许多纺织品，至今依然艳色不减，色泽宜人。明代的苏枋染色和套色技术也很值得注意，《多能鄙事》卷四载，用苏木、黄丹、槐花染料拼色后，再以明矾为媒染剂套染小红，染后扭起，“吹于风头令干，勿令日晒，其色鲜明甚妙。又法，只以槐花苏木同煎亦佳”[44]。

元代使用的拼色、套色技术，明代亦使用较多，并增加了一批新的媒染染料。《天工开物》卷三“彰施·诸色质料”条谈到了两种获得玄色的工艺：（1）染玄色，“将蓝芽叶水浸，然后下青矾、棓子同浸。令布帛易朽”。即是说，布帛先在蓝芽嫩叶水中浸染，后在五倍子、青矾水中套染，可得到乌黑色。但织物易受损。此五倍子为棓蚜科昆虫，寄生于盐肤木等植物形成的虫瘿中，含60%～70%的鞣质，是理想的黑色媒染染料。（2）染包头青色（青黑色），“此黑不出蓝靛。用栗壳或莲子壳煎煮一日，漉起，然后入铁砂、皂矾锅内，再煮一宵即成深黑色”。利用黑色套染和拼色的工艺，长期为后世沿用。此“再煮一宵”，显然是对染液的加温，以加速染色过程[45]。

明代更注意到了水质对织物染色质量的影响。李时珍《本草纲目》卷五“水部·流水·集解”载：“流水者，大而江河，小而溪涧，皆流水也。其外动而性静，其质柔而气刚，与湖泽陂塘之止水不同。然江河之水浊，而溪涧之水清。复有不同焉。观浊水流水之鱼，与清水止水之鱼，性色迥别，淬剑染帛，色各不同，煮粥烹茶，味亦有别。”这段话是从配药用水的角度说起的。水质对染帛质量存在影响，已是时人常识。

(三) 印花技术

印花布在明代也较盛行，尤其是松江的药斑布，畅销中外。褚华《木棉谱》对明代印花之法所述甚详："其以灰粉渗矾，涂作花样，随意染何色，而后剥去灰粉，则白章灿然，名曰印花。或以木板刻作花卉人物禽兽，以布蒙版而砑之，用五色刷其砑处，华彩如绘，名刷印花。"

印金织物在明代也较盛行。如1958年定陵地下宫便出土过印金衣物。人们还对其中一件印金云龙纹包袱皮作过科学分析，得知其黄金是一种金箔，而不是金泥。从传统技术调查来看，印金工艺大凡是这样的：先用型版蘸浆，并在织物上印出纹样，然后取碎金箔覆在其上，再盖以薄纸，在纸上用毛笔轻刷；待浆料干燥后，再将印金织物背面朝上，轻轻拍击，使多余的金箔落在纸上，印金即成。若在花纹部位轻轻研光，则粘贴更为牢固。这对我们了解古代印金技术亦具有一定的参考价值[46]。

## 第五节 机械技术的全面发展

明代是我国古代机械技术全面发展的一个重要阶段，不管在动力使用，还是在传动机械方面，都发展到了前所未有的高度。其动力有人力、畜力、水力、风力；其传动机构有齿轮、连杆、拨杆（凸块）、绳索。不但农业、手工业、交通、军事等部门广泛地沿用了唐、宋以来所创造的许多优秀机械，而且在此基础上还有许多创新。深井开采、冶金、纺织等方面的一些机械装备，本书在有关章节皆已提及，在此主要谈一下风力机械、绳索传动、齿轮传动、连杆传动，以及船舶机械等问题。

**一、风力机械的发展**

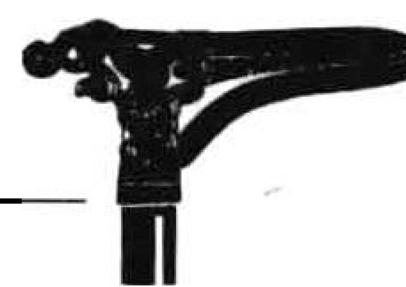
在宋代的基础上，明、清时期的风力机械又有了进一步发展，尤其是风帆水车，多种文献都有记载。

宋应星《天工开物》卷一"乃粒·水利"在谈到今扬州一带使用风帆车救潦时说："扬郡以风帆数扇，俟风转车，风息则止。此车为救潦，欲去泽水，以便栽种，盖去水非取水也。不宜济旱。"这是一种只宜救潦，而不宜济旱的风车。

徐光启《农政全书》卷一六"水利"在谈到作潴五法时说："高山野岭，或用风轮也。"潴，《古今韵会举要》卷三："水所停曰潴。""作潴"，徐光启原注云："作潴者，池塘水库也"。所述甚简，风车构造和用法皆不明了。

徐光启《农政全书》卷一七在谈到水转龙骨车的缺点时说："此却未便，水势太猛，龙骨板一受龃龉，即决裂不堪，与今风水车同病。"此亦提到了"风水车"。

在明代风帆水车资料中，较值得注意的是明童冀《尚䌹斋集》提到的大风轮，其卷三"南行集·水车行"云："零陵水车风作轮，缘江夜响盘空云；轮盘团团径三丈，水声却在风轮上。大江日夜东北流，高岸低岸开深沟；轮盘引水入沟去，分送高田种禾黍。盘盘自转不用人，年年秪用修车轮"。原题注云："永州水车，不假人力，分送诸沟，可以及远数里之外，其田亦仰此水云。"[1]此水车的风轮径及三丈，这是较大的。



明末方以智《物理小识》卷八“器用类·转水法”条也谈过一种大风轮：“用风帆六幅车水灌田者，淮、扬海壖皆为之。”此书成于崇祯十六年（1643 年）。

总的来看，上述关于风帆水车的记载都较简单，对其传动机构、轴向布置法，今人都很难获得真切的了解。由清代资料和传统技术调查来看，一般车水用的风车大凡都是齿轮传动的，其风轮当有卧轴式、立轴式两种，有关情况下章还要谈到。

在明代风力机械中还有一种儿童玩具风车。刘侗等著《帝京景物略》（1635 年）卷二载：“剖秫秸二寸，错互贴方纸其两端，纸各红绿。中孔以细竹横安秫竿上，迎风张而疾趋，则转如轮。红绿浑浑如晕，曰风车。”图 8－5－1 所示为流传下来的儿童玩具风车图，为卧轴式，以拨杆作驱动机构。其敲击鼓面的小杆，便是由小拨杆来驱动的[2]。我国古代拨杆机构至迟发明于汉，之后便一直沿用了下来，汉代发明的水碓、记里鼓车，东晋十六国时期发明的舂车，唐代或稍前发明的走马灯，以及此玩具风车等都设有拨杆机构。

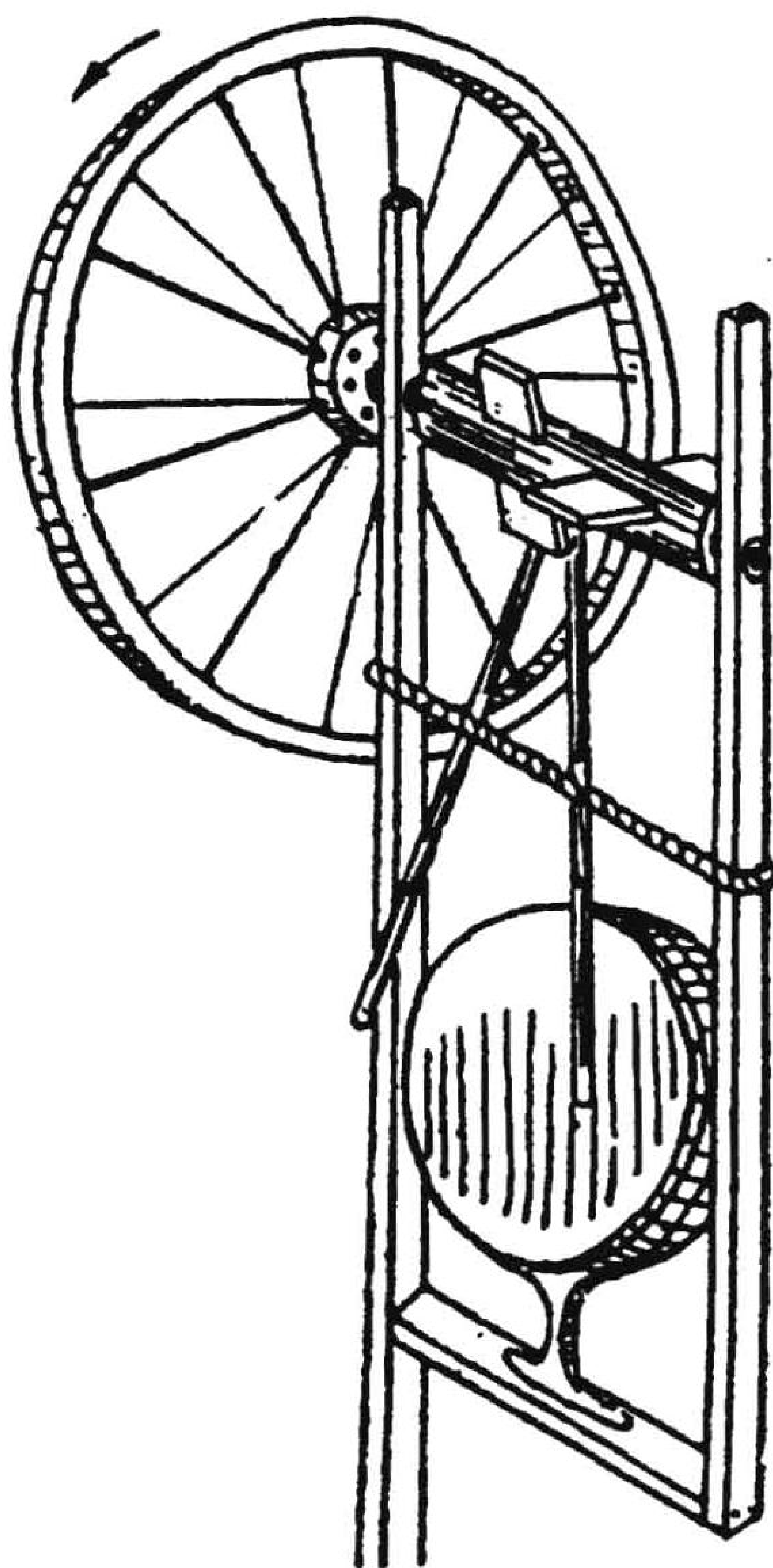


**图 8－5－1　民间流传的儿童玩具风车**
采自文献[2]

**二、绳索驱动机械的发展**

绳索驱动当可上推至旧石器时代，弓之弦便是一种驱动装置，之后便一直沿用了下来，并在农业、手工业等许多部门都有使用。先秦发明的滑车、辘轳、绞车所用绳索是作牵引用的，也即驱动绳索。“飞车”（见《抱朴子》）和舞钻的革带，都是一种驱动装置。这种绳索驱动，既无主动轴亦无从动轴，与“机械传动”的定义不符，故不属机械传动范围。今主要介绍一下琢玉砣机和代耕具中的绳索驱动，其原动力皆系人力。

（一）琢玉砣机的绳索驱动

一般认为，我国古代的琢玉砣机约可上推至新石器时代[3]，但有关记载和示图却是到了明代才看到的。宋应星《天工开物》卷一六“珠玉·玉”载：“凡玉初剖时，冶铁为圆盘，以盆水盛沙，足踏圆盘使转，添沙剖玉，逐忽划断。中国解玉砂，出顺天玉田与真定邢台两邑。其沙非出河中，有泉流出，精粹如面，借以攻玉，永无耗折。既解之后，别施精巧工夫，得镔铁刀者，则为利器也（镔铁亦出西番哈密卫砺石中，剖之乃得）。”图 8－5－2 所示为《天工开物》“琢玉”图中的绳索驱动。其工作机件主要是解玉盘，此盘贯于横轴上，横轴的两端支在轴承上。备绳索（或皮条）两条，每条的一端皆钉于解玉盘两侧的横轴上，并逆向绕轴数周；另一端皆固定在踏板上。当匠师用两脚轮流不断地驱动两块踏板时，便

带动解玉盘往复转动。匠师手执玉朴，再在解玉盘上分解、琢磨。

对于皮条在此琢玉床中的作用，学术界是有不同表述方式的。昔有学者认为，此皮条是“传递动力和运动”的，属于“牵引传动”[4]。今承郭可谦先生函告云：此皮条虽起到了牵引的作用，但这是一种驱动，而不是力或运动的传递，此整个机构中并无主动轴、从动轴，与机械传动的定义是不相符的。看来，这种皮条与滑轮、绞车中的绳索同样，都是一种牵引，一种驱动。

（二）代耕具的绳索牵引

我国古代的代耕具至迟出现于唐，明代文献亦不止一次地说起。其虽非明代犁耕具的重大成就，但还是值得一提的，它至少反映了此时人们的一种探索精神。




图8－5－2 《天工开物》所载“琢玉”图中的绳索驱动

明谈迁《枣林杂俎》“中集·器用·木牛”条载：“成化二十一年（1485年），户部左侍郎隆庆李衎，总督陕西边备，兼理荒政，发廪赈饥，作木牛，取耕牛之耒耜，易制为五：曰坐犁、曰推犁、曰抬犁、曰抗犁、曰肩犁。可山耕、可水耕、可陆耕。或用二人，多则三人。多者自举，少者自合，一日可耕三四亩。作木牛图布之。”[5]此“木牛”即是一种代耕具。其可山耕、水耕、陆耕，适应范围还是较广的；既“作木牛图布之”，也说明其已在一定范围内推广。但因无图示出，具体构造和驱动方式等都较难了解。

明王征《新制诸器图说》载，王征自己曾设计过一种代耕具，并附有插图，也是与木牛功能相类似的器物，这是一种典型的绞车式牵引机械。其制为：“以坚木作辘轳二具，各径六寸，长尺有六寸，空其中，两端设軹，贯于轴，以利转为度。轴两端为方柄，入架木内，期无摇动。架木前宽后窄，前高后低。每边两枝，则前短而后长：长则三尺有奇，短止二尺三寸。两枝组合如人字样。即于人字交合处作方孔，安其轴。两人字相合处，安轴两端。又于两人字两足各横安一枨木，则架成矣。架之后长尽处安横桄，桄置两立柱，长八寸，上平铺以宽板，便人坐而好用力耳。先于辘轳两端尽处，十字安木橛，各长一尺有奇。其十字头反以不对为妙，辘轳中缠以索，索长六丈。度六丈之中安一小铁环。铁环者，所以安犁之曳钩者也。两辘轳两人对设于三丈之地。其索之两端各系一辘轳中，而犁安铁环之内。一人坐一架，手挽其橛，则犁自行矣。递相挽亦递相歇。虽连扶犁者三人乎，而用力者则止一人。且一人一手之力足敌两牛。况坐而用力，往来自如，

似如田作，不无小补。"此"辘轳中缠以索"，自然是一种绞车牵引，即是"绳索"驱动。据王征云，还是行之有效的。

清初屈大均在《广东新语》卷一六"器语·木牛"中也谈到了类似机械，他还想试制。其云："木牛者，代耕之器也。以两人字架施之，架各安辘轳一具，辘轳中系以长绳六丈。以一铁环安绳中，以贯犁之曳钩。用时一人扶犁，二人对坐架上，此转则犁来，彼转则犁去，一手而有两牛之力，耕具之最善者也。吾欲与乡农为之。"此木牛之构造和使用方式与王征所述基本一致，很可能是由之援引过来的，都是以绞车用绳索来牵引耕犁的，同样属于绳索驱动。

**三、齿轮、连杆和链传送机械的发展**

（一）计时机械中的齿轮传动

齿轮传动至迟发明于汉，之后便一直沿用了下来，除指南车、记里鼓车、天文仪器、计时器外，在农业、手工业、交通运输和游艺性机械中都有使用，其中有人力机械、畜力机械、水力机械，也有风力机械。除前述外，明代齿轮传动机械最值得一提的是"五轮沙漏"计时机械和轧糖车。

《明史》卷二五"天文志"载：洪武八年，李天经又请造沙漏。"明初詹希元以水漏至严寒水冻辄不能行，故以沙代水。然沙行太疾，未协天运，乃以斗轮之外，复加四轮，轮皆三十六齿。厥后，周述学病其窍太小而沙易堙，乃更制为六轮。其五轮悉三十齿，而微裕其窍，运行始与晷协。天经所请，殆其遗意。"明宋濂《文宪集》卷一五"五轮沙漏铭·序"说得更为详细："沙漏之制：贮细沙于池而注于斗，凡运五轮焉。其初轮轴长二尺有三寸，围寸有五分，衡奠之。轴端有轮，轮围尺有二寸八分，上环十六斗；斗广八分，深如之。轴杪传六齿。沙倾斗运，其齿钩二轮旋之。二轮之轴长尺，围如初（轮），从奠之。轮之围尺有五寸，轮齿三十六。轴杪亦传六齿，钩三轮旋之。三轮之围轴若此与二轮同。其（奠）如初（轮）。轴杪亦传六齿，钩四轮旋之。四轮如三轮，唯奠与二轮同。轮（轴）杪亦传六齿，钩中轮旋之。中轮如四轮。余轮侧旋，中轮独平旋。轴崇尺有六寸。其杪不设齿，挺然上出，贯于测景盘。盘列十二时，分刻盈百。斫木为日形，承以云丽于轴中，五轮犬牙相入，次第运益迟。中轮日行盘一周，云脚至处则知为何时何刻也。余轮各有楹附，度中轮则否。轮与沙池皆藏几腹，盘露几面。旁刻黄衣童子二，一击鼓，一鸣钲。"此沙漏删除了元代宫漏的各种装饰结构，成为纯粹的计时器。据今人刘仙洲推测，其工作状况是：沙子从沙池流到初轮的沙斗里，带动全部机械齿轮。其每个大齿轮的另一端都装有一个小齿轮，以带动下一级的小齿轮；最后一个小齿轮则带动一个水平旋转的中轮，中轮轴上装有指针，其在测景盘（相当于现代计时器的钟表盘）上旋转，并指示时刻。中轮上另有拨牙装置，以拨动击鼓鸣钲的木人报时[6]。其原为四对齿轮，每一对的速比皆为 6，全轮系的速比便是 1296，即每天指针转一周，初轮应转 1296 周[7]。因詹希元所作漏孔太小，常有沙流堵塞；16 世纪中期，民间天文学家周述学进行了一些改良：一是把漏孔加大，使流沙不至堵塞；二是把齿轮传动速比降低，每一对的速比都是 5[2]。可见，此沙漏的基本构造与后来的西洋时钟是相类似的，唯测景盘中无转速不同的分针[6]。图 8-5-3 系今人刘仙洲绘制的五轮沙漏传动机构图。与水漏相

比较，此沙漏的优点是可免受气温影响，缺点是其流速不太均匀，报时准确性也就稍差。但它毕竟是我国古代计时器的一项重要成就，也是我国古代齿轮传动的一项重要成就。宋濂（1310～1381年），元末明初人，明时官累翰林学士，曾参与制定明代的许多典章制度。

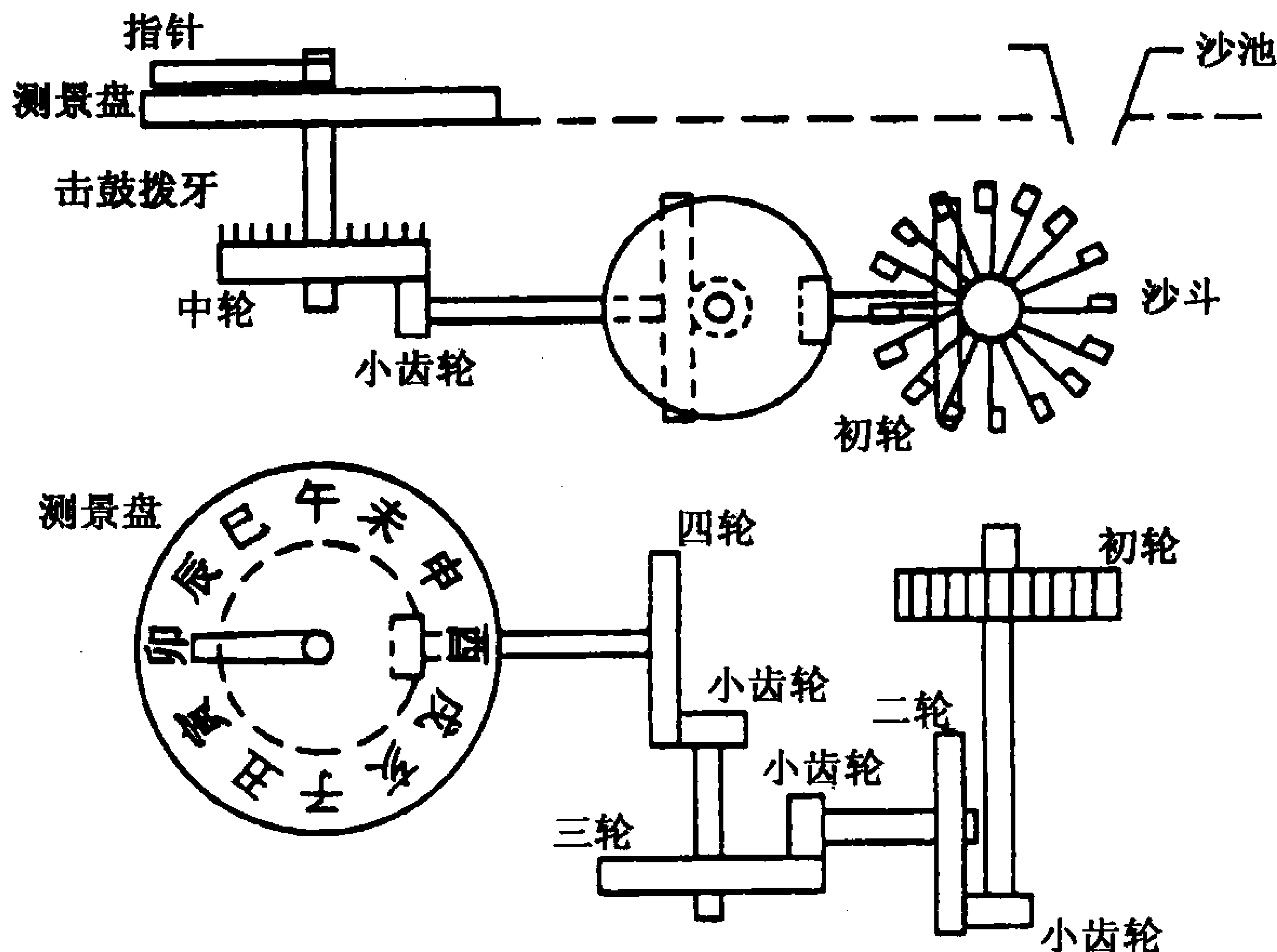


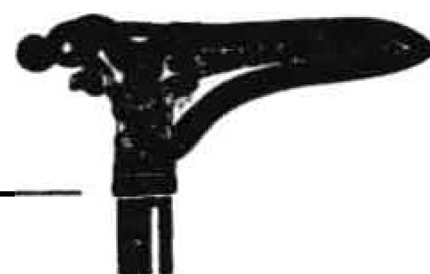

**图8－5－3　五轮沙漏工作示意图**

采自文献[2]

（二）关于轧糖车中的齿轮

文献上关于轧糖车的记载是到了明代才看到的。明宋应星《天工开物》卷六"甘嗜·造糖"载："凡造糖车，制用横板二片，长五尺，厚五寸，阔二尺，两头凿眼安柱，上笋出少许，下笋出版（板）二、三尺，埋筑土内，使安稳不摇。上板中凿二眼，并列巨轴两根（原注：木用至坚重者），轴木大七尺围方妙。两轴一长三尺，一长四尺五寸，其长者出笋安犁担。担用屈木，长一丈五尺，以便架牛团转走。轴上凿齿分配雌雄，其合缝处须直而圆，圆而缝合。夹蔗于中，一轧而过，与棉花赶车同义。蔗过浆流，再拾其滓，向轴上鸭嘴扱入，再轧，又三轧之，其汁尽矣。其滓为薪，其下板承轴凿眼，只深一寸五分，使轴脚不穿透，以便板上受汁也。其轴脚嵌安铁锭于中，以便掭转。凡汁浆流板有槽枧，汁入于硎（缸）内，每汁一石，下石灰五合于中。凡取汁煎糖，并列三锅如品字，先将稠汁聚入一锅，然后逐加稀汁两锅之内。若火力少束薪，其糖即成顽糖，起沫不中用。"（图8－5－4）显然此处使用了齿轮，而且是圆柱齿轮，由"凿齿分配雌雄"一语和示图便可知悉。轧糖车的使用，是明代齿轮应用技术的一大进步，也是榨糖技术的一大进步。

具有齿轮副的轧糖车当是明末之前，宋代之后才发明出来的；宋王灼《糖霜谱》所述榨糖机械实际上是一种石碾，说明齿轮轧糖车当时尚未发明。此外，还



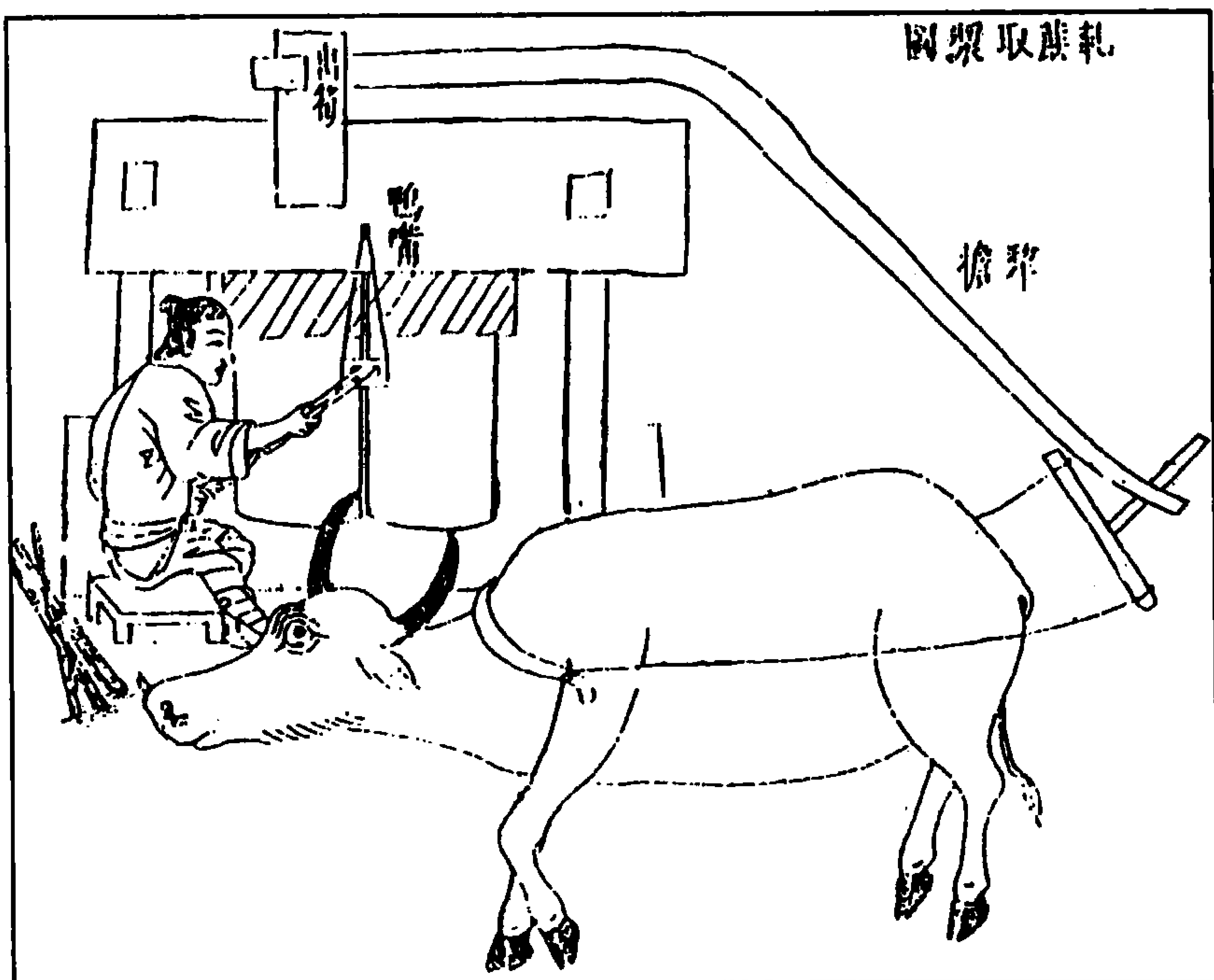



图8－5－4　《天工开物》所载“轧蔗取浆图”

有一条资料可以为证。20世纪60年代编撰的《仙游县志》载：“明万历四十八年榨蔗工具得以改良，蔗农始糖车夹取汁煎为糖，改变原来以舂、捣、磨取汁老法。”此说仙游轧糖车出现于万历四十八年（1620年）。其说当属可信。其与《天工开物》初版年代（崇祯十年，1637年）亦相去不远。

在此有一点需要讨论的是，《天工开物》所载轧糖车是否属于齿轮传动，学术界的表述方式是有差别的。往日有学者认为：此“糖车不但采用齿轮机构传递动力，而且还应用了斜齿轮传动”[8]。今承郭可谦先生惠告：此糖车似非齿轮传动，其齿轮虽曾传递过动力，但更为重要的是，它是机械系中的“执行部分”、加工部分；它只相当于一种轧辊，它的主要功能是压榨，而不是传动。这是对轧糖车齿轮功效的两种表述。我们倾向于后一种说法。

由此看来，我国古代机械中的绳索、链、齿轮都有传动和非传动两种不同的机构。非传动绳索的主要功能是牵引和驱动，非传动链的主要功能是传送；非传动齿轮使用较少，在轧糖机械中，它实是一种轧辊。

《天工开物》初刻本的“轧蔗取浆”图有两处是画错了的：（1）主动轮与从动轮的齿向画成了同向。（2）牛的行走方向亦不对[9]。

（三）连杆机构

连杆也是我国古代使用较早、较广的传动机构，鼓风器中的水排，粮食加工中的人力磨、人力砻、水击面罗、脚打罗，纺织中的棉花搅车、脚踏纺车、脚踏缫车，军事上的猛火油柜等都使用了连杆机构。其中许多机械皆在前面几章，或本章的其他部分谈到过，明《武编》“前集”卷五还引用了宋《武经总要》关于

猛火油柜的记载。本节主要谈一下脚打罗中的连杆。

脚打罗是依靠人的双脚来踏动的面罗机械，工作原理与水击面罗基本相同。王祯《农书》只谈到水击面罗，却未谈及脚打罗。其发明年代不详，明宋应星《天工开物》卷四“精粹”才将脚打罗以插图（图8－5－5）的形式示出，但无文字说明。由示图可知，其面罗用绳悬挂在一个较大的面箱里，罗的两边各装一条连杆通到箱外，之后再由一个摇杆使之往复摇动。此摇杆装置在下部具有横杆的横轴上，工人用两脚交替踏动横杆的两头，摇杆便左右摇动，并牵动面罗往复摇动；同时，中间还立有一条撞杆（图中名“撞机”），来回摇动时各撞击一次，可增强震动和筛面效果。这是一种较为典型的连杆传动机构。



图8－5－5　《天工开物》所载“面罗”图

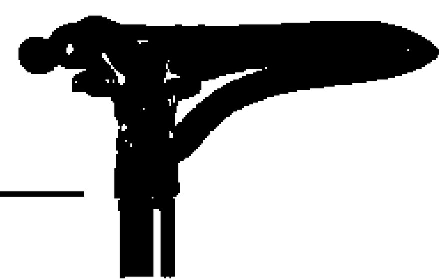
（四）排灌机械中的链传送

我国古代的链传送装置多用在排灌机械中，其中主要有：（1）高转筒车，约发明于三国时期；元王祯《农书》、明徐光启《农政全书》等亦曾谈及。（2）斗链井式水车，约发明于唐，其包括木斗式和筒链式等几种。（3）龙骨车，至迟发明于北宋，包括水力、畜力、风力、双人踏动、单人摇动等种。及明，链传送机械又有了一些新的发展，仅宋应星《天工开物》卷一所载便有双人踏动的龙骨车（名为“踏车”）、牛转卧轮龙骨车（名为“牛车”）、一人摇动的龙骨车（名为“拔车”）等。“拔车”之名是明代才见于文献的，其只需一人用双手摇动，操作简便，适应性强。但《天工开物》一书中只有图示，而无文字说明。宋代龙骨车是否为单人操作的拔车，有待进一步研究。

**四、造船技术的发展**

明代是我国古代造船业、航海业发展的又一个高峰期。所造船舶不但数量较多、规模较大、品种较繁，而且形成了沙船、广船、福船三大船型，在远洋航海上创造了更高于前代的业绩，并出现了多部关于造船技术的专著，形成了一系列技术规范。因明代中后期采取了严格的“海禁”政策，使我国造船业、航海业和整个社会经济技术的发展，失却了一次很好的机遇。

明初曾多次大规模造船。如明太祖洪武五年（1372年），“诏濒海九卫造海舟六百六十艘”[10]。明成祖永乐三年（1405年），“五月丙戌，命浙江等都司造海舟千八十艘”[11]。永乐十年，一次便造漕船二千余艘[12]。明廷漕运用船量较大，《明史》卷七十九“食货·漕运”载：“运船之数，永乐至景泰，大小无定，为数至



多。天顺（1457～1464年）以后，定船万一千七百七十，官军十二万人。”为保证安全，运船还须“三年小修，六年大修，十年更造”，依此，平均每年皆须补造千余艘。明初战船打造量也是较大的，后因政策变化，才很快锐减下来。

明代船型种类较多，仅战船便有广船、福船、沙船、开浪船、苍山船、鹰船、两头船、子母船、车轮船、火龙船、连环船等，仅《筹海图编》卷一三图示的便有18种之多。在这些种类中，有的船型是相差较大的，有的却相差较小，归纳起来，其中较为典型、较负盛名者，是沙船、广船、福船三大船型[13][14]。

沙船。这是长江口及崇明一带的方头、方梢、平底，吃水较浅的多桅多帆船。此类船型约形成于唐[15]，相类同的名称约可追溯到宋①，但“沙船”这个正式名称却是到了明代中期才出现并流行开的。明郑若曾《筹海图编》（嘉靖间成书）卷一三载：“沙船能调戗使斗风，然惟便于北洋而不便于南洋，北洋浅南洋深也。沙船底平不能破深水之大浪也。北洋有滚涂浪，福船、苍山船底尖，最畏此浪，沙船却不畏此。北洋可以抛铁锚，南洋水深惟可下木椗。”《明史》卷九一“兵志三”载：嘉靖二十三年，“兵部亦言：浙直通泰间最利水战，往时多用沙船破贼，请厚赏招徕之”。《明史》卷九二“兵志四”载：“沙船可接战，然无翼蔽”，不能冲锋陷阵，但“沙船随进，短兵接战，无不胜”。这些地方都谈到了沙船之名及其使用性能。

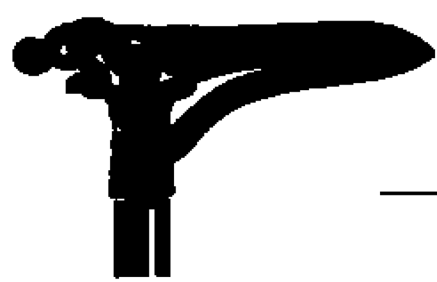
福船。这是闽、浙一带尖底海船的总称。唐、宋时期，由于对外交往之发展，福州、泉州等沿海一带便成了我国重要的造船中心，并逐渐形成了“上平如衡，下侧如刃”的船型。

《筹海图篇》卷一三载：“福船高大如楼，可容百人，其底尖，其上阔，其首昂而口张，其尾高耸，设柁楼三重于上。其旁皆护板，钉以茅竹，坚立如衡。其帆桅二道，中为四层。”最下层实以土石，第二层为兵士寝息之所，第三层为下椗起椗用力之所，第四层如露台。“两傍板翼如栏，人倚之以攻敌”。“吃水一丈一二尺，唯利大洋”。

广船。是一种航海尖底战船。广东造船技术亦发明较早，唐、宋时代便达到了较高水平，明代又有了进一步发展。《筹海图编》卷一三载：“广船，视福船尤大，其坚致亦远过之。盖广船乃铁栗木所造，福船不过松杉之类而已。二船在海若相冲击，福船即碎，不能挡铁栗之坚也。倭夷造船亦用松杉之类，不敢与广船相冲。但广船难调，不如福船为便易。”

这三大船系之下还有不同的分支，三大船系之外也还有其他一些船型；有的船型是先世产生，明代又作了改进的；有的则可能是明代设计的。前者如“车轮舸”，即前世之车船，其形制在明代稍有缩小，但更灵活。唐顺之《武编》“前集”卷六载：车轮舸，“长四丈二尺，阔一丈三尺”。“内安四轮，轮则入水约一尺许，轴在仓内令人转动，其行如风”。船上配置各种火器，攻击或追逐敌船，均极为方便。其余船型不再一一讨论。三大船系的形成，是我国古代造船技术长期发展的

① 《宋史》“兵志一”：建炎初，“其战舰则有海鳅、水哨马、双车、得胜、十棹、大飞、旗捷、防沙、平底、水飞马之名”。一般认为，此“防沙”、“平底”则为沙船名称之始祖。





结果。

明代船舶规模也较大，尤其是远洋船，如郑和下西洋的宝船等。从永乐三年（1405 年）到宣德六年（1431 年），郑和先后七次奉诏出使西洋，不管从船舶规模，还是人员组织上，每一次都是浩浩荡荡的行动。《明史》卷三〇四“郑和传”载：“成祖疑惠帝亡海外，欲踪迹之，且欲耀兵异域，示中国富强。永乐三年，命和及其侪王景弘等通使西洋。将士卒二万七千八百余人，多赍金币，造大舶修四十四丈、广十八丈者六十二。”又，谈迁《国榷》卷一三“永乐三年”条载，郑和第一次出使西洋所用宝船为 63 艘，大者长 44 丈、阔 18 丈；次者长 37 丈、阔 15 丈，下西洋官兵计为 27870 人[16]。所说与《明史》有一定差别。依故宫博物院所藏嘉靖牙尺和山东梁山出土的明代骨尺，皆 1 尺 = 0.32 米计[17]，此宝船便长 140.8 米，宽 57.6 米，长宽比约为 2.4。从有关资料看，其他几次航行也不相上下，规模都是较大的。罗懋登《西洋记》第十五回还记述了各种船型的桅数，最大的宝船为九桅；次大的马船，八桅；依次较小者为七桅、六桅、五桅。在此有一点需顺带说明的是，往日曾有学者认为，此宝船长宽比太小，从而对有关记载产生了怀疑。其实这是不必的。前面谈到，宋船便有“形制短圆”和“形如方斛”者，1974 年泉州所发现的宋代海船与此就不相上下。

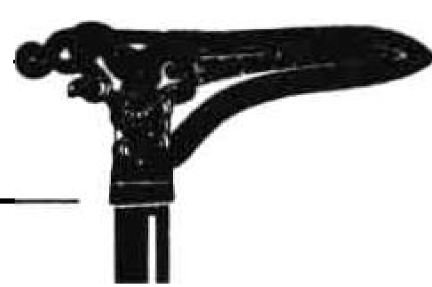
由于造船业、航海业的发展，此期还出现了多部船舶专著，如沈㟧《南船记》（成书于 1541 年）、李昭祥《龙江船厂志》（成书于嘉靖年间）、席书《漕船志》（后又经朱家相增修）。此外还有一些著作虽非船舶专著，却也载有丰富的船舶资料，如《筹海图编》、戚继光《纪效新书》、茅元仪《武备志》、宋应星《天工开物》等，其中都不乏官方和民间的造船技术规范。如申时行重修《明会典》卷二〇〇“工部二十”载：“一千料海船一只合用：杉木三百二根，杂木一百四十九根，株木二十根，榆木舵杆二根，栗木二根，橹坯三十八枝，丁线三万五千七百四十二个，杂作一百六十一条个，桐油三千一十二斤八两，石灰九千三十七斤八两，艌麻一千二百五十三斤三两二钱。”这是用料规范，此外还有船舶各部的尺寸规范。三部专著所述尤为详明，不再一一引述。这些专著和用料规范、技术规范的出现，一方面是长期生产经验的总结，另一方面也是为了进一步指导生产。

**五、关于楔和床刨的利用及螺旋起重**

（一）楔子在榨油机中的应用

楔是较为典型的尖劈，早在新石器时代便被人们用到了木材的纵向加工中；后世对楔的使用中，大家较为熟悉的一个例子便是油榨的长楔。

徐光启《农政全书》卷二三“农器·图谱三”载：“油榨，取油具也。用坚大四木，各围可五尺，长可丈余，叠作卧枋于地；其上作槽，其下用厚板嵌作底槃，槃上圆凿小沟，下通槽口，以备注油于器。凡欲造油，先大镬爨炒芝麻既熟，即用碓舂或辗。辗令烂，上甑蒸过，理草为衣，贮之圈内，累积在槽。横用枋桯相拶，复竖插长楔，高处举碓或椎击，擗之极紧，则油从槽出。此横榨谓之卧槽，立木为之者谓之立槽。傍用击楔，或上用压梁，得油甚速。”（图 8-5-6）拶，压迫。脚踏碓椎，冲击长楔，以达到压榨的目的。直到 20 世纪后期，类似利用长楔榨油的传统机械在许多地方还可看到，宋应星《天工开物》卷一二“膏液·法具”



条也有类似的记载。唯两者冲击长楔的方式稍有不同。《农政全书》所载油榨图为碓椎式，是用人力踏碓的方式使大椎自由下落，以冲击长楔；《天工开物》所载油榨为悬杠式，即推动悬于长梁上的大杠，利用大杠切线运动的惯性力来冲击长楔。在传统技术中，《天工开物》所载者较为习见。

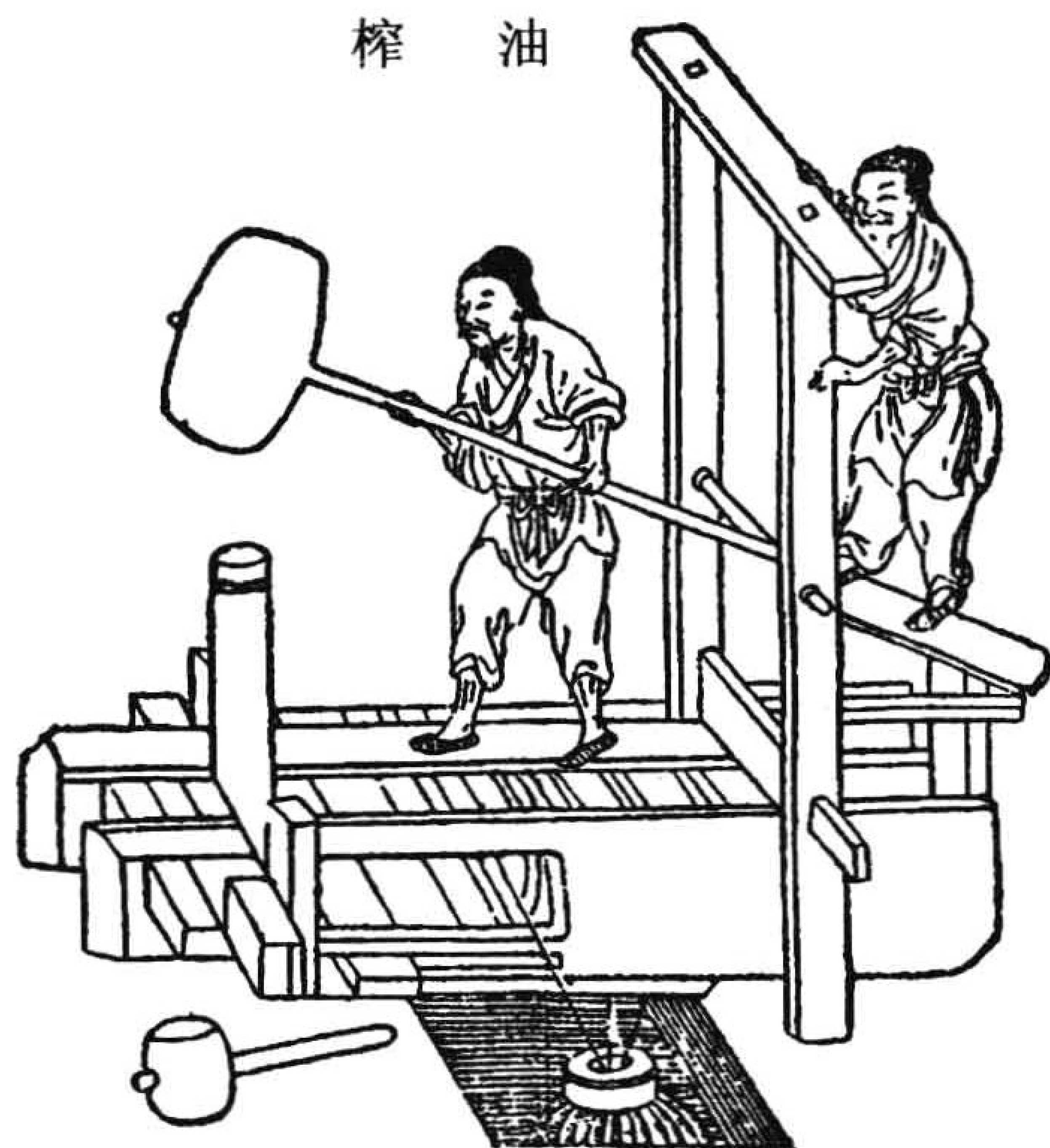



图 8-5-6　《农政全书》所载"油榨"图

（二）平木床刨的发展

平木床刨是一种重要的平木工具，约始见于汉，之后，由六朝、唐、宋到明代，有关资料都可看到[18]。

在现有字书中，最早提到"刨"字的是《玉篇》，其云："刨，蒲茅切，平木器"。此书原为梁大同九年（543 年）顾野王撰，后在唐代早期由孙强增字，在宋代由陈彭年等重修，但基本保留了原有风貌；结合武威汉代刨花来看，此"刨"字很可能是顾野王选入的。

唐代诗文中也有刨的资料。元稹《长庆集》卷一三"江边四十韵"云："官借江边宅，天生地势坳……栋梁存伐木，苫盖愧分茅。金琯排黄荻，琅玕裹翠梢。花砖水面斗，鸳瓦玉声敲。方础荆山采，修椽郢匠刨。隐椎雷声蛰，破竹箭鸣胶。"整段文字描写了建筑工地的热烈场面。作者在题注中说："官为修宅，卒然有作。"文中提到的伐木、修椽、隐椎、破竹等，都是木工操作。"郢"指江陵，题注中曾有"并江陵时作"一语。"椽郢匠刨"一句便指郢地木匠用刨修椽。元稹（779～831 年）大体上生活于唐代中期。

及宋，刨的使用更加普遍起来，有关文字和图示资料皆更多且更为明确。

《广韵》云："刨，刨刀。治木器也。"说明宋代已用刨平木。该书为陈彭年等人依《切韵》增订而成，成书于北宋大中祥符元年（1008 年），今见之本基本上保持了它的原貌，后人只作过校勘。《切韵》系隋陆法言所撰，成书于仁寿元年（601 年），它的编写大纲是前 20 年由刘臻、颜之推等人讨论商订的，故《广韵》中的"刨"字很可能源于《切韵》。

《集韵》云："刨，平木器，一曰搔马具。"该书为宋丁度等撰，成书于北宋英宗治平四年（1067 年）。看来，由《玉篇》到《长庆集》，以及《切韵》、《广韵》、《集韵》，关于刨的记述是一脉相承，大体一致的。虽此处未曾图示出它具体的形态，我们以为它应即床刨，而非小锛（锄）、小铲类物。因床刨在技术上较锄、铲更为进步，使用亦当更广，类于《长庆集》所云官宅修建用刨，应主要指床刨言。

如前所云，台湾故宫博物院珍藏宋苏汉臣《货郎图》一幅，货郎手推独轮车，车上挂满 70 种左右不同的器物，包括农具、手工业工具、日常生活用具、乐器等，其中手工业工具有锛、斧、墨斗、曲尺、舞钻等，值得注意的是其中还有一只刨

（彩版肆，2），形态与今木工用刨无异[19]。这说明床刨在宋代已经广泛使用，这也为《集韵》等关于刨的文字作了较好的注释。也有人认为苏汉臣《货郎图》系明代晚期之作，依据尚嫌不足，需要进一步研究。

及明，宋应星《天工开物》卷一〇“锤锻·刨”还专门谈到了刨的形态和结构，云：“凡刨，磨砺嵌钢寸铁，露刃忽，斜出木口之面，所以平木，古名曰准……寻常用者，横木为两翼，手执前推。”所述与苏汉臣所绘基本一致。

（三）关于螺旋起重

明方以智《物理小识》卷八“器用类·起重法”谈到过一种螺旋起重法，其云：“起重法，以刚铁作蠡丝，旋入熨铁方基中，既成，二物牝牡相合。左旋则入，右旋则出。乃以承重物先左旋则缩之，后右旋而伸之，其渐长处实之以楔，如此屡加则起矣。”此主要是说螺旋，其实这也是一种斜面，当属斜面的一种特殊利用。类似技法前此很少见人提起，是否西洋传来，很值得研究，今暂录于此。

## 第六节　造纸技术的发展

由于整个社会经济、文化和科学技术的发展，社会对纸的需求量大增。明王朝对纸的生产也较重视，并较早便设立了纸官局。私营造纸作坊（槽户）在全国南北都有发展。明代纸业，不管在工艺技术上，还是产量质量上，都较前代有了较大提高，其技术上较值得注意的事项是：皮纸和竹纸技术都有了较大发展，尤其是江西和福建二省，不但品种增加，操作上也更为成熟；“宣德五年纸”成为一时之甲；有关造纸技术的文献记载也更为详明。这些都更好地促进了先进文化的保存、传播和发展。

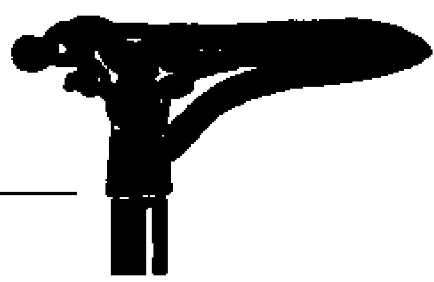
**一、明代纸的产地和品种**

明代产纸地仍以南方为多，江西、安徽、浙江、福建、江苏、四川等省产量都是较大的，尤其江西；北方的山西、陕西、河北等省也有生产，其中既有先世名品，如仿薛涛笺、仿澄心堂纸等，但更多的是明代创新的。

江西纸业以广信府最负盛名，明初便设槽生产，初始只有玉山一县，之后发展到永丰、铅山、上饶三县。王宗沐、陆万垓《江西大志》卷八①云：“广信府纸槽，前不可考，自洪武年间创于玉山一县，自嘉靖以来始有永丰、铅山、上饶三县，续告官司亦各起立槽房。玉山槽坐峡口等处，永丰槽坐柘杨等处，铅山槽坐石塘石垅等处，上饶槽坐黄坑周村高洲铁山等处……制作有方，其槽所非一地。”[1]在明永乐时，朝廷便在江西西山设立了纸官局，专管造纸诸事。如前所云，我国古代纸的职官设立较早，南朝齐设有纸官署，南唐设有纸务。

江西官局纸不但质量好，其品名亦有28种之多。《江西大志》卷八载：“司礼监行造纸，名二十八色，曰白榜纸、中夹纸、勘合纸、结实榜纸、小开化纸、呈

① 《江西大志》，王宗沐（1523～1591年）修，嘉靖三十五年（1556年）出版，主要论述江西的自然环境、经济状况、工农业生产和施政得失等。其卷七为《陶书》，原缺有关造纸的内容；为此，陆万垓（1525～1600年）于万历廿五年（1597年）将之补入，名为《楮书》，编次卷八。





文纸、结连三纸、绵连三纸、白连七纸、结连四纸、绵连四纸、毛边中夹纸、玉版纸、大白鹿纸、藤皮纸、大楮皮纸、大开化纸、大户油纸、大绵纸、小绵纸、广信青纸、青连七纸、铅山奏本纸、竹连七纸、小白鹿纸、小楮皮纸、小户油纸、方榜纸。以上定例，五年题造一次。”“乙字库行造纸，名一十一色，曰大白榜纸，大中夹纸、大开化纸、大玉版纸、大龙沥纸、铅山本纸、大青榜纸、红榜纸、黄榜纸、绿榜纸、皂榜纸。以上随缺取用，造解无期。”[1]看来这是一种综合分类法，有的可能是以原料为标准的，如藤皮纸、楮皮纸等；有的则以外形和规格为标准，如大楮皮纸、小楮皮纸等。其中有本色纸，也有加工纸。此“绵纸”系纤维较为纤细且坚韧者。《天工开物》卷一三“杀青·造皮纸”条云：“凡皮料坚固纸，其纵纹扯断如绵丝，故曰绵纸，衡断且费力。”此“青纸”，在唐、宋时期是一种青藤纸，信奉道教的人常用它来书写祝辞，即世俗之“青词”；明代青纸可能是藤皮纸或桑皮纸。奏本纸，亦即柬纸，一种特制专用高级纸。明代铅山产竹纸。《天工开物》卷一三“杀青·造竹纸”条载：“若铅山诸邑所造柬纸，则全用细竹料厚质荡成，以射重价。最上者曰官柬，富贵之家，通剌（刺）用之。其纸敦厚而无筋膜，染纸为吉柬，则先以白矾水染过，后上红花汁云。”射重价，即谋取重价。奏本纸、玉版纸等都是优质纸。如此众多，且品质优良的书写纸和印刷纸，在前世都是很少看到的。它们多数都是楮皮纸和竹纸。

这是江西纸局的部分情况。其他处产纸也不少，《考槃余事》、《长物志》等都曾对整个明代纸的产地和品种作过综述。

明屠隆（1542～1605年）《考槃余事》卷二“纸笺”条载：“永乐（1403～1424年）中，江西西山置官局造纸，最厚大而好者，曰连七[纸]、曰观音纸。有奏本纸，出江西铅山。有榜纸，出浙之常山、[南]直隶庐州英山。有小笺纸，出江西临川。有大笺纸，出浙之上虞。今之大内用细密洒金五色粉笺、五色大帘纸、洒金笺。有白笺，坚厚如板，两面砑光，如玉洁白。有印金五色花笺。有瓷青纸，如缎素，坚韧可宝。近日吴中无纹洒金笺为佳。松江谭笺不用粉造，以荆州川连纸褙厚、研光，用蜡打各色花鸟，坚滑类宋纸。新安仿宋藏经笺纸亦佳，拆旧裱画卷绵纸，作画甚佳，有则宜收藏之。”[2]这里谈到的产纸地有江西、浙江、安徽、江苏等地；纸的品种则有连七纸、观音纸、奏本纸、榜纸，以及小笺纸、大笺纸、洒金五色笺纸等，其中有本色纸，也有加工纸。屠隆，浙江鄞县人，曾任吏部主事。此“西山”，即江西新建县西山。明项元汴《蕉窗九录》所述大体相同。

文震亨《长物志》（约1640年）卷七“纸”条载：“国朝连七、观音、奏本、榜纸俱不佳，惟大内用细密洒金五色粉笺，坚厚如板，面砑光如白玉；有印金花五色笺，有青纸如段（缎）素，俱可宝。近吴中洒金笺纸，松江谭笺，俱不耐久。泾县连四最佳。”[3]此推崇的只有大内用细密洒金五色粉笺和泾县连四纸等，并认为榜纸等亦不佳。

明代私营造纸作坊常称槽户。康熙《上饶县志》卷一〇载：明万历二十八年时，仅江西铅山石塘镇，“纸厂槽户不下三千余户，每槽帮工不下一二十人”。可见规模之大。造纸工艺亦较复杂，《江西大志》说信州楮皮需经七十二道工序。

这是名产地、名品牌的情况，其他不再一一列出。

**二、造纸原料的采取**

我国古代造纸原料的基本品种，宋前大体都已开发出来。明代造纸原料主要是树皮和竹，此外还有麻类、稻草、棉花等。树皮主要是楮皮，其次是桑皮和芙蓉皮。宋应星《天工开物》卷一三“杀青·纸料”载：“凡纸质，用楮树（一名榖树）皮与桑穰、芙蓉膜等诸物者为皮纸，用竹麻者为竹纸。精者极其洁白，供书文、印文、柬启用；粗者为火纸、包果纸。”桑穰，俗称桑白皮，是桑树的第二层皮；芙蓉膜，木芙蓉的树皮；竹麻，即竹丝。此只谈到了皮纸和竹纸的原料，说明了它们在明代社会中的重要地位。明代造纸原料选择上较值得注意的事项是：（1）由于商业和交通技术的发展，供应范围有了很大的扩展。（2）由于多种原因，各种造纸原料产生了不同的消长。

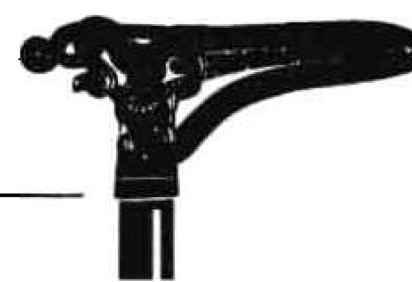
原料供应地域之扩展。明《江西大志》在谈到江西广信府造纸原料和工具时说：“楮[纸]之所用为構皮、为竹丝、为帘、为百结皮。其構皮出自湖广；竹丝产于福建；帘产于徽州、浙江。自昔皆属（由）吉安、徽州二府商贩装运本府地方货卖。其百结皮玉山土产。”[1]可见其構(榖)皮是从湖广（今湖南、湖北）贩运来的，竹料等来自福建等地。

竹料之采取。竹纸在我国约始于唐，当时主要产于广东、浙江等地；宋、元的主要产区是江浙一带，但质量未及上乘；及明，竹纸便有了超越皮纸之势。明宋应星《天工开物》卷一三只谈了竹纸和皮纸，并把竹纸放到了皮纸的前面。明代竹纸的主要产地是福建，其次是浙江、江西等省。宋应星《天工开物》卷一三云：“凡造竹纸，事出南方，而闽省独具其盛。当笋生之后，看视山窝深浅，其竹以将生枝叶者为上料。节界芒种，则登山砍伐。”此便谈到了竹纸的主要产地为闽；竹料的采取时间则是芒种之际，竹将生枝叶者为上。《闽部疏》（不分卷）载：“闽山所产松杉外，有竹、茶、乌臼之饶，竹可为纸，茶可油，乌臼可烛也。”[4]此亦谈到了闽地生产竹纸的情况。

皮料之采取。树皮纸始创于汉，经久而不衰。前引《笺纸谱》、《蜀笺谱》皆说“天下皆以木肤为纸”，便反映了它在宋、元的地位。明代皮纸生产量较大，质量也较高，《江西大志》所云信州贡纸，便主要是皮纸。关于楮皮的割取方法，宋应星《天工开物》卷一三“杀青·造皮纸”曾有简明记载：“凡楮树取皮，于春末夏初剥取。树已老者，就根伐去，以土盖之，来年再长新条，其皮更美”。这里谈到了楮皮的采割法，这在明代以前是很少见人提到的。

草类造纸。我国古代草纸技术发明于唐或宋，及明，有关记载便多了起来。申时行重修《明会典》卷一九五载：“凡宝钞司年例抄造供用草纸七十二万张，御用监成造香事草纸一万五千张……合用石灰、木炭、铁器、木植等料，俱工部派办。”足见明代已大量使用草类纤维造纸。

混合料的发展。混合料造纸术的发明期约可上推到东汉，之后历代都有使用，如西夏曾用棉布和大麻布混合造纸。在明代，大约一般皮纸都要配入竹麻，有的还要配入稻草。《天工开物》卷一三“杀青·造皮纸”条云：“凡皮纸，楮皮六十斤，仍入绝嫩竹麻四十斤，同塘漂浸，同用石灰浆涂，入釜煮糜。近法省啬者，皮、竹十七而外，或入宿田稻草十三，用药得方，仍成洁白。”“皮名而竹与稻稿



参和而成料者，曰揭帖呈文纸。”可见明代普通皮纸的配料比为：楮皮60%、绝嫩竹麻40%；为节省皮料，亦可皮竹共计为70%，宿田稻草30%。而“皮”也未必尽是楮皮，往往还包括百结皮。此“皮名”即有皮纸之名者，其实际上是竹与稻草参和者。这些关于皮纸配比的记载，前世文献也是很少看到的。

**三、抄纸技术**

我国古代造纸技术虽然发明较早，但关于造纸工艺的详细记载，却是到了明代才看到的，此前的各种记载都甚为简单。

（一）竹纸之抄造

明代的多种文献都曾提及，尤以宋应星《天工开物》对竹纸工艺所述最详，其卷一三“杀青·造竹纸”载：

竹料采来后，“截断五、七尺长，就于本山开塘一口，汪（注）水其中漂浸。恐塘水有涸时，则用竹枧通引，不断瀑流注人。浸至百日之外，加功槌洗，洗去粗壳与青皮（是名杀青），其中竹穰形同苎麻样。用上好石灰化汁涂浆，入楻桶下煮，火以八日八夜为率”。

“凡煮竹，下锅用径四尺者，锅上泥与石灰捏弦，高阔如广中煮盐牢盆样，中可载水十余石。上盖楻筒，其围丈五尺，其径四尺余。盖定受煮，八日已足。歇火一日，揭楻取出竹麻，入清水漂塘之内洗净。其塘底面，四维皆用木板合缝砌完，以妨（防）泥污（原注：造粗纸者不须为此）。洗净，用柴灰浆过，再入釜中，其中按平，平铺稻草灰寸许，桶内水滚沸；即取出[并入]别桶之中，仍以灰汁淋下。倘水冷，烧滚再淋；如是十余日，自然臭烂。取出入臼受舂（原注：山国皆有水碓），舂至形同泥面，倾入槽内。”

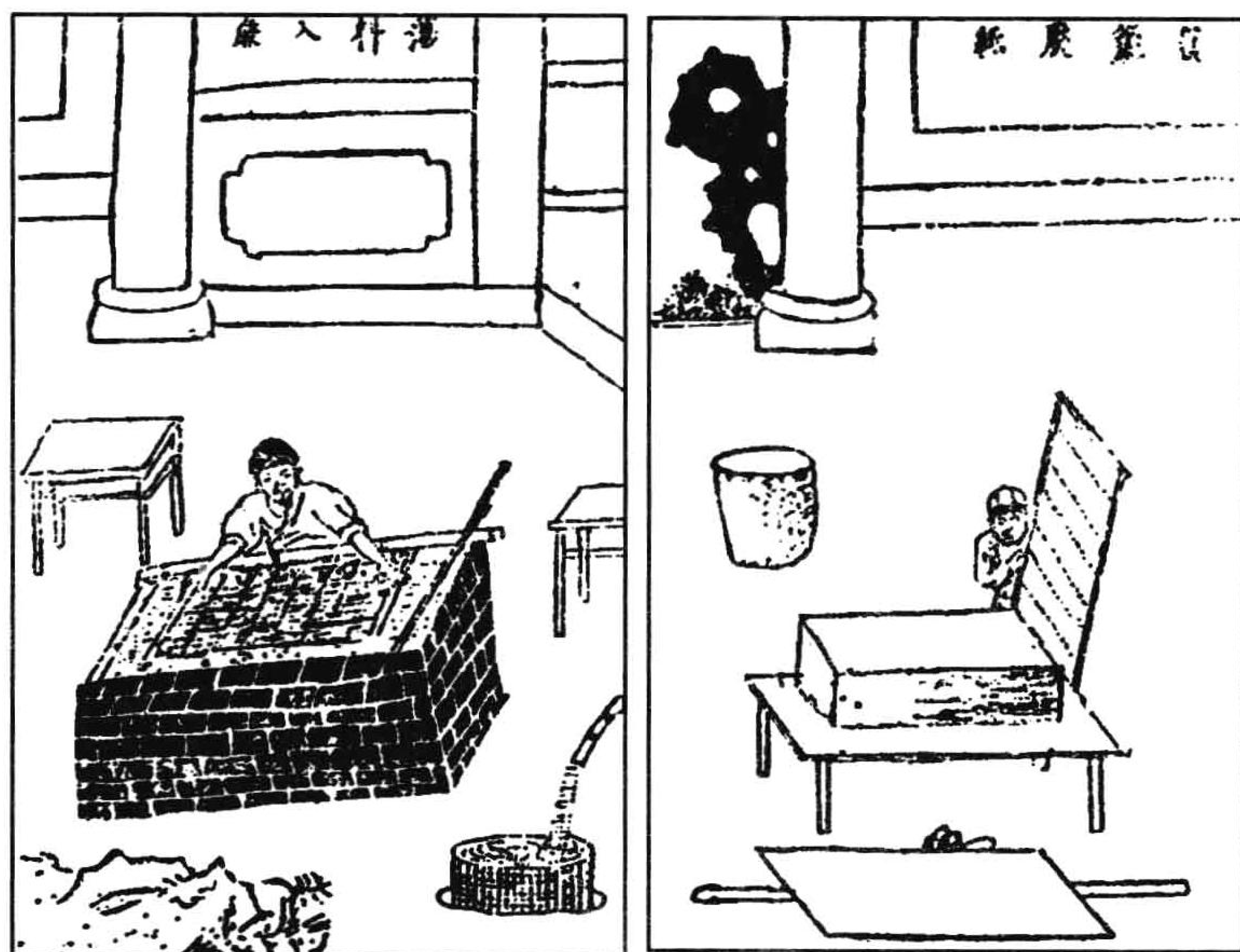


图8-6-1 《天工开物》所载“荡料入帘”图和“覆帘压纸”图

“凡抄纸，上合方斗，尺寸[之]阔狭，槽视帘，帘视纸。竹麻已成，槽内[入]

清水浸浮其面三寸许，入纸药水汁于其中（原注：形同桃竹叶，方语无定名），则水干自成洁白。”

“凡抄纸帘，用刮磨绝细竹丝编成，展卷张开时，下有纵横架匡，两手持帘入水，荡起竹麻入于帘内。厚薄由人手法，轻荡则薄，重荡则厚。竹料浮帘之顷，水从四际淋下槽内，然后覆帘，落纸于板上，叠积千万张（图 8－6－1）。数满则上以板压。俏（捎）绳入棍，如榨酒法，使水气净尽流干。然后，以轻细铜镊逐张揭起、焙干。”

“凡焙纸，先以土砖砌成夹巷，下以砖盖巷地面，数块以往即空一砖。火薪从头穴烧发，火气从砖隙透巷外，砖尽热。湿纸逐张贴上焙干，揭起成帙（图 8－6－2）。”依《天工开物》所云，当时的大四连纸、官柬纸等，都是品质较好的竹纸。

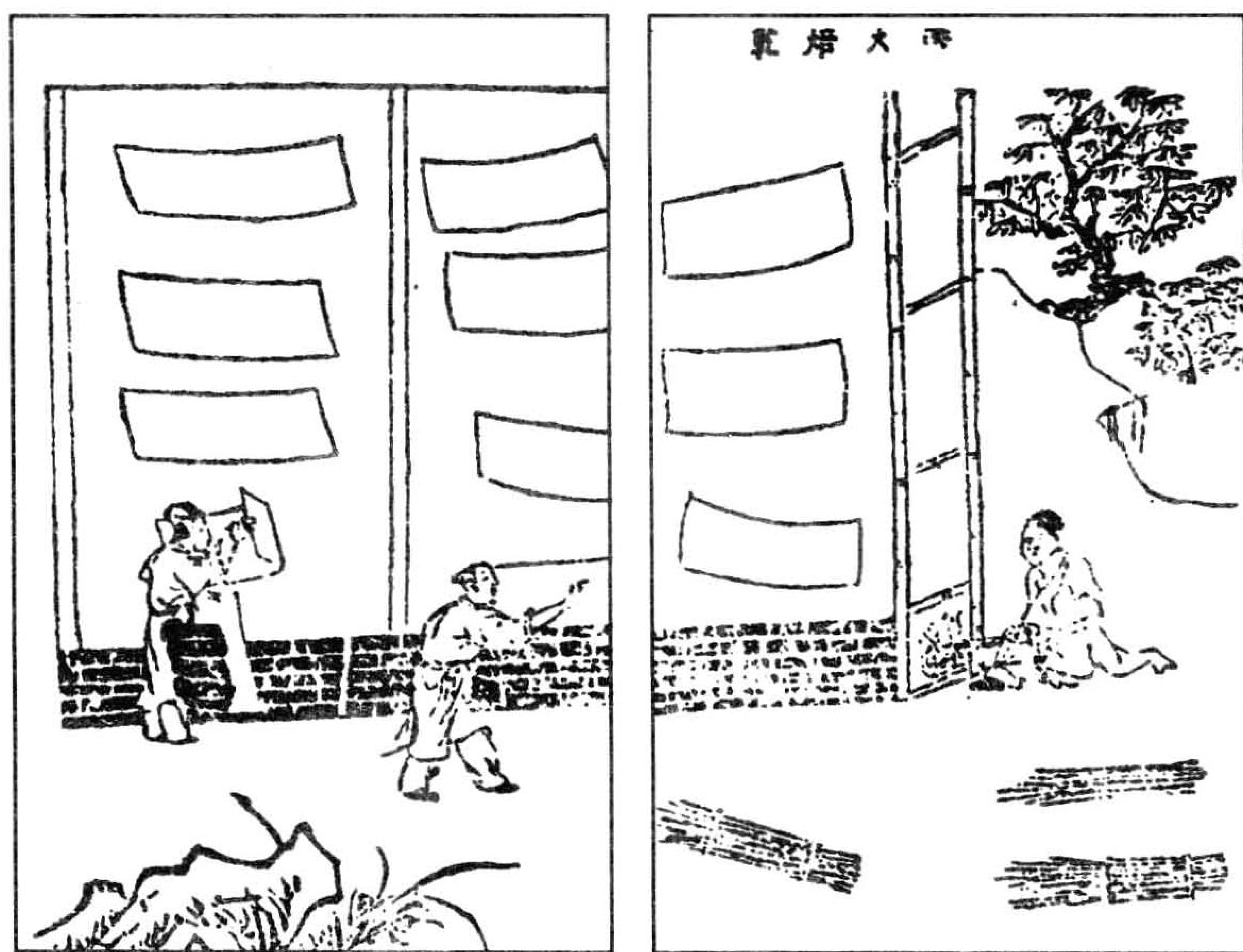
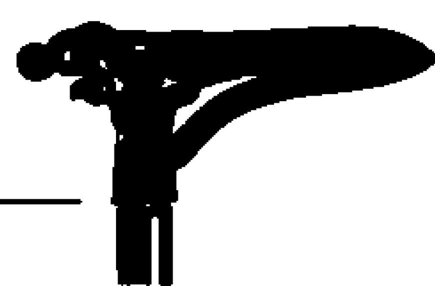



图 8－6－2 《天工开物》所载“透火焙干”图

这里谈到了竹纸生产的全过程。基本操作是：（1）沤制。沤以清水，至百日以上。（2）制成竹穰。即将竹料作槌洗加工，以去除粗皮和青皮，使成竹穰。此过程又叫杀青。“穰”同瓤，常指松散、脆柔的瓜心。（3）灰水浸泡，楻桶蒸煮。先以石灰浆涂刷和浸泡竹穰，之后下大楻桶蒸煮八天八夜。此“楻桶”即环筒状大木桶。煮竹之锅径 4 尺，锅上以泥和石灰摩封接沿。广中，指广东省境。（4）清洗。煮八日八夜后歇火一日，再入清水塘中将灰浆洗净。（5）柴灰浆多次浇淋煮沸。第一次煮沸前，先把竹麻浆过，入釜中按平，其上平铺约一寸厚的稻草灰，之后在桶中煮沸。为使各部分竹麻均匀受煮，可将之倒换到另外一个桶中，再浇淋柴灰浆。再煮再淋，如是者十余日，自然腐烂。（6）入水碓舂细，成为纸浆。（7）加入纸药。此纸药因形同桃竹叶，各地方言无定名。纸槽的大小是由纸帘决定，帘的大小是由纸决定的。（8）抄纸。纸帘由绝细竹丝编成。纸浆的厚薄完全



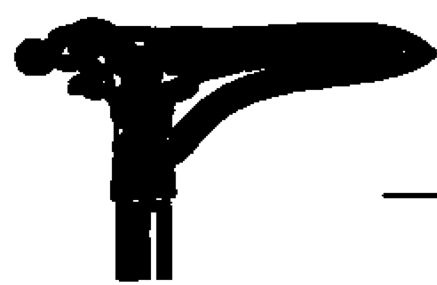
由工匠的手势决定。抄好一帘后，滤去多余的水分，便覆帘将纸落于板上。此湿纸积叠到一定数量后，用板压去多余的水分，之后再用铜镊将纸逐张揭起。（9）焙干。（10）揭起成帙。所述甚为详尽，此前是不曾有过的。值得注意的是：明代皮纸中已较广地使用了日光漂白，此竹纸工艺却只字未提；当非疏忽，可能是未曾使用或使用未广之故。

（二）皮纸之抄造

明代著作《徽州府志》卷二、《菽园杂记》卷一三、《江西大志》卷八、《天工开物》卷一三等都记述过皮纸的制造工艺，其中又以《菽园杂记》和《江西大志》为详。总体上看，明代皮纸和竹纸的产量大约是不相上下的，但在工艺技术上，则依然是皮纸更为成熟。

明陆容（1436～1494年）《菽园杂记》（1495年）卷一三载："衢之常山、开化等县，人以造纸为业。其造法：采楮皮蒸过，擘去粗质，糁石灰浸渍三宿，蹂之使熟。去灰，又浸水七日，复蒸之。濯去泥沙，曝晒经旬，舂烂水漂；入胡桃藤等药，以竹丝帘承之。俟其凝结，掀置白上，以火干之。白者，以砖板制为案桌状，圬以石灰而厝火其下也。"[5]此述为浙江常山、开化的楮皮纸工艺，简洁明晰，无须重复。值得注意的是"曝晒经旬"一语，这显然是日光漂白。在纺织业中，此工艺约始于先秦时期；它在造纸业中的使用估计也不会太晚，有关记载是到了明代才看到的，主要用于高级白纸。

王宗沐、陆万垓《江西大志》对楮纸制作过程说得更为详细，将構皮、竹丝、帘、百结皮等造纸原料购齐后，"槽户雇倩人工，将前物料浸放清流急水，经数昼夜。足踹去壳。打把捞起，甑火蒸烂。剥去其骨，扯碎成丝。用刀剉断，搅以石灰，存性月余，仍入甑蒸。盛以布囊，放于急水浸数昼夜，踹去灰水见清。摊放洲上日晒、水淋，毋论日月，以白为度。木杵舂细成片。摛开复用桐子壳灰及柴灰和匀，滚水淋泡。阴干半月。涧水洒透，仍用甑蒸、水漂、暴晒，不计遍数。多手择去小疵，绝无瑕玷。刀斫如炙，揉碎为末。布袱包裹，又放急流洗去浊水。然后安放青石板合槽内，决长流水入漕，任其自来自去；药和溶化，澄清如水照。依纸式大小高阔，置买绝细竹丝，以黄丝线织成帘床，四面用筐绷紧。大纸六人，小纸二人，扛帘入槽水中，搅转浪动，捞起帘上成纸一张，揭下叠榨去水，逐张掀上砖造火焙，两面粉饰，光匀内中，阴阳火烧，薰干收下，方始成纸。工难细述论，虽隆冬炎夏，手足不离水火。谚云：'片纸非容易，措手七十二'"[1]。这里详述了江西纸官局制造楮皮纸的全过程，基本程序为：（1）浸泡。将楮皮置清流激水中浸泡数昼夜，目的是脱胶和洗去污物。（2）用足踏去掉部分粗皮。（3）甑火蒸烂。并剥除茎秆芯部，捶去外皮，将内皮撕碎成丝。（4）用刀剉断，砍成短丝。（5）石灰浸泡月余。（6）再次入甑蒸煮。（7）冲净。装入布袋置急流中冲洗数昼夜，并踏去灰水至清。（8）日光漂白。摊放空地上，令日晒水淋，至色泽转白为度，不计时日。（9）用木杵舂成料片。（10）用滚烫的灰浆水淋泡。此灰水须是桐子壳灰和柴灰混合而成。（11）阴干半月。（12）再次入甑蒸煮、水漂、曝晒，且不计遍数。此前须用涧水洒透。（13）挑去结疤小疵。此需许多人手。（14）再用刀碎如炙，揉碎为末。（15）洗去污水。布袱包裹，复置激流中浸洗。（16）配





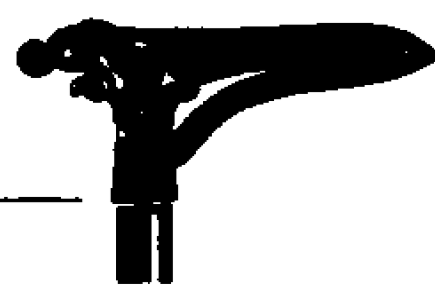
制成浆。先将前料装入石槽内，再引入净洁之长流水。(17) 加入纸药。(18) 抄纸。(19) 将揭下的纸叠在一起压去多余的水分。(20) 逐张掀到砖砌的火墙上焙干。(21) 揭纸。当然，实际操作应当较此更为繁杂。故谚云："片纸非容易，措手七十二"。这里也提到了日光漂白。这段内容自然是以楮皮纸工艺为主的，但其他皮纸大体亦是如此。

宋应星《天工开物》卷一三"杀青·造皮纸"条关于皮纸的技术内容虽不如《江西大志》丰富，但对我们还是有一定帮助的。其在谈到了选料、配料后说：楮皮与竹，"同塘漂浸，同用石灰浆涂，入釜煮糜"。在皮纸中，"其最上一等，供大内糊窗格者，曰棂纱纸。此纸自广信郡造，长过七尺，阔过四尺。五色颜料，先滴色汁，槽内和成，不由后染。其次曰连四纸，连四中最白者曰红上纸"。"凡造皮纸长阔者，其盛水槽甚宽，巨帘非一人手力所胜，两人对举荡成。若棂纱，则数人方胜其任。凡皮纸供用画幅，先用矾水荡过，则毛茨不起。纸以逼帘者为正面；盖料，即成泥浮其上者，粗意犹存也"。可见：(1) 与前云同样，楮皮与竹皮亦须浸泡和蒸煮。但此有一点值得指出的是：宋应星所说的"同塘漂浸"一语说得不太清楚，竹与楮是不宜同置一个水池内浸泡的，故此"同"当是同样之意，即竹与楮同样须要在塘中漂浸，而非竹与楮同在一个水池内漂浸[6]。(2) 广信所产最大纸，是供大内所用棂纱纸，其长达七尺，宽达四尺。依故宫博物院所藏嘉靖牙尺（1 尺 =0.32 米）计[7]，则相当于 224 厘米 ×128 厘米。这种巨帘便非一人手力所能胜任。这在一定程度上反映了明代造纸业的技术水平。(3) 色纸之成色，有将色汁滴入纸浆槽内者，也有成纸后染者。

明代之皮纸用料除楮皮外，便是桑皮和芙蓉皮。以桑皮作为造纸原料之事约始于北魏或稍前，之后便沿用了下来。我国南北许多省份都有较为发达的蚕桑业，这对桑皮纸的发展自然是一个较为有利的因素。重修《明会典》卷三一"户部·钞法"载："洪武八年，令中书省造大明宝钞，取桑穰为钞料。"桑纸韧性较好，强度较高，明初便受到了朝廷的重视。《天工开物》卷一三"杀青·造皮纸"条载："桑皮造者曰桑穰纸，极其敦厚，东浙所产，三吴收蚕种者必用之。""永嘉蠲糨纸亦桑穰造。"看来，桑皮纸主要产于东浙，可用来造纸币和收蚕种等。

以芙蓉皮为原料造纸之事未知始于何时，有关记载是到了明代才看到的。《天工开物》卷一三"杀青·造皮纸"条载："四川有薛涛笺，亦芙蓉皮为料煮糜。"又说："芙蓉等皮造者，统曰小皮纸，在江西则曰中夹纸。""凡糊雨伞与油扇，皆用小皮纸。"看来，明代在四川、江西等地都有芙蓉皮纸生产，但唐或宋、元薛涛笺是否使用了芙蓉皮，则未可知。今人陈大川说："芙蓉在台湾生长甚速，春初插枝，经夏即发长枝，长过六尺，径愈半寸，秋花后即可伐枝取皮供用。笔者试种多株，试制皮纸亦佳。"认为它是可推广之原料。[8]

薛涛笺又名浣花笺，始于唐，之后常有仿造者，但质量和数量皆多不如前，明代也恢复过一段较短的时间，很快便无复再现。《天工开物》卷一三"杀青·造皮纸"条载：薛涛笺是以芙蓉汁来美其色的，"入芙蓉花末汁，或当时薛涛所指，遂留名至今。其美在色，不在质料也"。对此，陈大川曾提出过异议，说"芙蓉花舂碎后，变成粘液，用于抄纸时令纤维悬浮不沉则可，染纸则未见显色"。并认为



“《天工开物》著者未经实验，谓薛涛笺其美在色不在料，乃属想当然耳之辞”[8]。看来，此当言之有理。至于明、清文献所云，桃花纷落水中后，亦可用于纸之染色，如明包汝楫《南中纪闻》载：“薛涛井在成都府，每年三月初三日，井水浮溢，郡人携佳纸向水面拂过，辄作娇红色，鲜灼可爱”[9]。当亦是想当然耳。

方以智《物理小识》卷八简单地综述了一些不同地区、不同原料、不同纸药的抄纸工艺及其相互间的差别，是一段难得的资料。其云：“抄纸法：洽楮者沤之，投黄葵之根则释而为淖糜，酌诸槽抄之以帘。其薄者一再抄，厚至五六抄。覆诸夹墙，熘干而揭之。或以石灰水浸楮后，涤其灰，伪者加竹料、草料，以粉取白，则沁不耐书矣。竹[纸]取筍(笋）初成竹，断之去青谓之竹丝，浸而舂之。江西抄者粗，其抄草纸按尺者，煮当子藤叶，抄而累之则番张不粘；或用榆皮。闽中抄竹纸、简纸，取榔树合围者，锯片舂碎煮水，抄帘乃可笮之而番张烤熘也；或用大圆黄香树皮。广信用羊桃藤水，皆取其滑。”可见，不同地区、不同原料，其纸药是不同的，皆取其滑也。

（三）草纸之抄造。在明、清以前的文献中，关于草纸工艺的记载较少，明代太监刘若愚《酌中志》卷一六“宝钞司”载：“每年工部商人办纳稻草、石灰、木柴若干万斤；又香油四十五斤以为膏车轴之用。抄造草纸，竖不足二尺，阔不足三尺，各用帘抄成一张，即以独轮小车运赴平地晒干，类总入库，每岁进宫中各官人使用。至圣驾所用草纸，则系内官监纸房抄造，淡黄色，绵软细厚，进交管净近侍，非此司造也。神庙至先帝惟市买杭州好草纸为之。祖宗时造钞印板及红板，闻俱在库中贮之，其衙门左临河，后倚河，有泡稻草池，而每年池中滤出石灰草渣，陆续堆积，竟成一卧象之形，名曰象山”[10]。这段记载虽然较杂，但对我们了解明代草纸生产还是有一定帮助的。

（四）还魂纸。今称之为再生纸，是用旧废纸为原料，往往亦加入部分新料而制成之纸。如前所云，至迟宋代便已出现，但有关记载却是明代才看到的。《天工开物》卷一三“杀青·造竹纸”条载：“其废纸，洗去朱墨污秽，浸烂，入槽再造。全省从前煮浸之力，依然成纸，耗亦不多。南方竹贱之国，不以为然，北方即寸条片角在地，随手拾取再造，名曰还魂纸。竹与皮，精与粗，皆同之也。”

（五）火纸、糙纸、包裹纸。前二者是主要用于冥烧的粗纸，后者则用如其名。《天工开物》卷一三“杀青·造竹纸”条载：“若火纸、糙纸，斩竹煮麻，灰浆水淋，皆同前法（造竹纸法）。惟脱帘之后，不用烘焙，压水去湿，日晒成干而已。盛唐时，鬼神事繁，以纸钱代焚帛（原注：北方用切条，名曰板钱)，故造此者，名曰火纸。荆楚近俗，有一焚侈至千斤者。此纸十七供冥烧，十三供日用。其最粗而厚者，名曰包果纸，则竹麻和宿田晚稻稿所为也。”宿田，歇种庄稼的隔年田。

上面谈到了明代造纸工艺的一般流程，由于原料和地区之别，或要求不同，实际操作是千差万别的。依此，我们又可将明代造纸工艺区分为三种类型：(1）需用石灰和草灰的碱液沤腌和多次甑蒸、漂洗和日光漂白者。这可得到一种纤维较纯、杂质较少、白度较高的优质竹纸，如玉版纸、官柬纸等。(2）只用石灰等碱液蒸煮，但不作漂白，或少漂白者，质量较前稍次，是为本色纸，统称表

纸，如白表纸、黄表纸等。表纸之名在宋代便已出现，明、清仍在使用。（3）火纸。从原料选择，到灰水沤腌和焙干，皆无上二者讲究。

**四、宣纸**

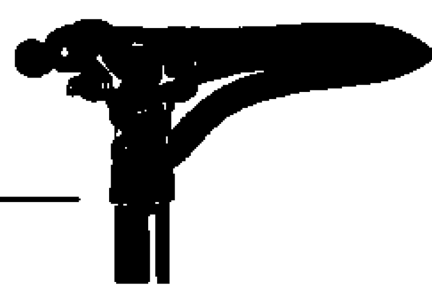
明宣德时期，国家经济、技术都发展到了一个较高的水平。宣德五年（1430年），官方制作了一种优质的“宣德纸”，其上钤有“宣德五年造素馨纸”印，以供御府使用和赏赐群臣，后从内府传出，方为民间所重。这种纸与瓷器中的宣德青花等品种、铜器中的宣德炉等鼎彝器系列同样，在我国古代技术史上占有重要的地位。

明沈德符（1578～1642年）《飞凫语略》“高丽贡纸”载：“宣德纸近年始从内府溢出，亦非书画所需，正如宣和龙凤笺、金粟藏经纸，仅可装褫耳。”[11]此说宣德纸正如宋宣和龙凤笺、金粟藏经纸一样，是一种只供装褫的高级名贵纸。“非书画所需”，并非不堪书画之用，而是此纸过于名贵，不宜作书画类小用。同书还提到了泾县纸：“泾县纸，粘之斋壁，阅岁亦堪入用。盖以灰气且尽，不复沁墨。往时吴中文、沈诸公又喜用。”[11]此“文”、“沈”即书画家文徵明（1470～1559年）、沈周（1427～1509年）。沈德符在此明确提到了“泾县纸”，并说其深受文、沈两位书画家青睐，但须阅岁方堪入用，亦说明其仍存在某些不足。同时由此还可看到，在沈德符生活的年代，即明代晚期，宣德纸与泾县纸是不同的两个品种。

明末方以智《物理小识》卷八“器用·笺纸”条在介绍明代纸的品种时，也曾把宣德纸作为一个重要产品列出：“永乐[时]于江西造连七纸。奏本[纸]出铅山。榜纸出浙之常山、庐之英山，[钤]‘宣德五年造素馨纸’印。有洒金笺、五色金粉[笺]、磁（瓷）青蜡笺；此外，薛涛笺则[是]矾潢云母粉者；镜面高丽[笺]，则茧纸也。后唐澄心堂纸绝少。松江[有]潭笺或仿宋藏经笺。渍荆川连[纸]，[藉]芨褙蜡砑[光]者也。宣德‘陈清’款白楮皮[纸]，厚可揭三四张，声和而有穰；其桑皮者牙色，矾光者可书。今则绵[纸]推兴国、泾县。敝邑桐城浮山左亦抄楮皮[纸]、结香纸。邵、建则[有]竹纸、顺昌纸。柬纸则广信为佳，即奏本[纸]也。”这里谈到了纸的许多产地和品种，同时也为我们提供了许多与宣德纸有关的资料：（1）浙江常山、安徽英山所产榜纸钤“宣德五年造素馨纸”印。说明宣德纸产地不止一处。（2）宣德纸当有多种名款，陈清款是其中较好的一种；此外应当还有非“陈清”款纸。自然，其品名当亦非一种。（3）宣德纸原料不止一种，陈清款纸便有白楮皮纸，也有桑皮纸，“其桑皮者牙色”。（4）兴国和泾县产有“绵纸”（楮皮纸），但其未钤“宣德五年”印，说明在整个明代，泾县纸与宣德纸都是两种不同的产品。

与此相类的说法在清查慎行（1650～1727年）《人海记》（约1713年）卷下“宣德纸”条还可看到：“宣德纸，有贡笺、有绵料，边有‘宣德五年（1430年）造素馨纸’印。又有白笺、洒金笺、五色粉笺、金花五色笺、五色大帘纸、磁青纸，以‘陈青’款为第一。”[12]又，查悔余咏宣德纸诗云：“小印分明宣德年，南唐西蜀价争传，依家自爱陈清款，不取金花五色笺”[13]。可知在明代晚期和清代早期时，宣德纸在社会上已获得了较高的声誉。

关于明代宣德纸工艺的资料较少，我们只有两点推测：（1）其本色纸工艺应



与高级皮纸，如榜纸等大体一致，因常山、英山榜纸曾钤“宣德五年造”字样。（2）宣德纸技术应是江南历代皮纸技术的总结和提高。

**五、纸的加工技术**

前面谈到的明代纸品中，相当大一部分是经过了特殊加工的。其加工方法，有沿用先世的，也有明代创新的。我国古代加工纸发明较早，但明代以前，技术性记载却较少，且较简单；明代则多了起来，今仅依明高濂《遵生八笺》卷一五等所记作一介绍。

染葵花笺法。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·造葵笺法”载：“五六月，戎葵叶和露摘下，捣烂取汁，用孩儿白[纸]、白鹿[纸]坚厚者裁段。葵汁内稍投云母细粉，明矾些少和匀，盛大盆中。用纸拖染挂干，或用以砑花，或就素用。其色绿可人，且抱野人倾葵微意。”[14]孩儿白、白鹿，都是一种纸的地方性名称。戎葵即蜀葵，其叶汁可将纸染成嫩绿色；投入云母后，青绿色的纸面便闪烁银色的光亮。纸经这种染色后可用于书写，亦可用雕花木板砑出图案。这是一种高档书法纸和艺术加工纸。

仿宋金粟笺法。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·染宋笺色法”载：“黄柏一斤捶碎，用水四升浸一伏时，煎熬至二升止，听用。用橡斗子一升，如上法煎水听用。胭脂五钱，深者方妙。用汤四碗浸榨出红。三味各成浓汁，用大盆盛汁。每用观音[纸]帘坚厚纸，先用黄柏汁拖过一次，后以橡斗汁拖一次，再以胭脂汁拖一次，更看深浅加减，逐张晾干可用。”[14]宋黄色藏经笺十分名贵，书画家皆不惜高价访购，元、明仿制者甚多。此染料依然主要是黄柏，内含小柏碱，可防蛀，魏晋之后即用以染黄。橡子为褐色染料。胭脂作红色染料。此三种染料制备后，分别拖于原纸上，再视需要调整染料的浓度和拖色次数。在此值得注意的是：此三种色液套染后，便具有了宋粟笺的色态和风范。其实，今人所见金粟笺并无纯黄，而是褐黄，加胭脂的目的是抵消过多的褐色，足见其妙哉。

书画用纸加工法。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·染纸作画不用胶法”载：“纸用胶矾作画，殊无士气，否，则不可着色。开染法：以皂角捣碎，浸清水中一日，用砂罐重汤煮一炷香，滤净调匀，刷纸一次，挂干。复以明矾泡汤加刷一次，挂干。用以作画，俨如生纸。若安三、二月用更妙。折旧裱画卷绵纸(皮纸)作画甚佳，有，则宜宝藏可也。”[14]此即是说，用胶矾纸作画时，显得呆滞而无生气；不用胶矾又不可作色。用皂角和胶矾处理后，便如生纸一般；最好存放三两月后再用，既可写字，又可设色作画。

造金银印花笺法。这是一种印有金银花图案的笺纸，类似的方法约始见于唐代。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·造金银印花笺法”条载：“用云母粉，同苍术、生姜、灯草煮一日，用布包揉沈(洗)，文(又)绢包揉洗，愈揉愈细，以绝细为甚佳。收时以绵纸(皮纸)数层置灰矼上，倾粉汁在上晾(湮）干，用五色笺将各色花板平放，次用白芨调粉，刷上花板，覆纸印花板上，不可重揭，欲其花起故耳。印成花如销银。若用姜黄煎汁，同白芨水调[云母]粉，刷板印之，花如销金。二法亦多雅趣。”[14]苍术为菊科植物，其根茎粉碎后呈灰色，与云母调合后呈银灰色。姜黄含姜黄素，呈鲜黄色，与云母调合后呈金黄色。白芨根部所

含胶质颇高，我国古代粉涂加工纸时，常以之作为胶料。

造松花笺法。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·造松花笺法”条载：“槐花半升炒焦赤，冷水三碗煎汁，用银(云)母粉一两、矾五钱研细，先入盆内。将黄汁煎起，用绢虑过，方入盆中搅匀。拖纸以淡为佳。文房用笺外，此数色皆不足备。”[14]此松花笺，或即前云松江潭笺。槐花为豆科植物，蕾中含有黄色色素，可作黄色媒染剂。与云母粉调匀，并加入少许明矾，而拖染于纸面晾干后，即可显现松花一般的花色。

羊脑笺。这是一种蓝黑色的厚重加工纸，始于宣德年间，清代仍在使用。清沈初（1736～1799年）《西清笔记》（1795年）卷二“纪职志”载：“羊脑笺以宣德磁青纸为之，以羊脑和顶烟墨窨藏久之，取以涂纸，研光成笺，黑如漆，明如镜。始宣德年间制。制以写金，历久不坏，虫不能蚀。今内城惟一家犹得其法，他工匠不能作也。”[15]可知其工艺是：以宣德瓷青纸为原料，以羊脑与顶烟墨涂布而成。看来，此羊脑笺大体上亦属于宣德加工纸范围。

伪作古色法。《物理小识》卷八载：“作故色纸：桦皮烧烟薰纸作故色如泥，凡纸沁者，薰之不沁（原注：《续录》曰：纸自然故者其表故色，其里必新）。”

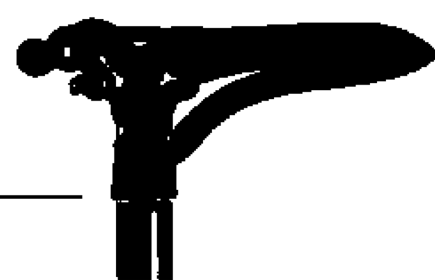
捶打熟纸法。明高濂《遵生八笺》卷一五“燕闲清赏笺中·造捶白纸法”条曾有明确记载[14]，其文字与第五章第六节所引《蕉窗九录》的文字几乎完全一样，不再重复。这两种文献在谈到捶纸时，都说要用纸药；明宋诩《竹屿山房杂部》卷七“燕间部·文房事宜”也谈到过捶纸工艺，只是未提到使用纸药[16]。

## 第七节 印刷技术的发展

明代是我国古代印刷技术发展的一个高峰期，不但印书数量、品种和作坊分布范围都大大地超越了宋、元时期，而且技术上也有多方面的发展和创新，并达到了前所未有的水平。

从经营方式看，明代印刷主要有官刻、坊刻、藩刻、家刻4种。官刻本又可分为朝廷官刻本和地方官刻本两种，朝廷的印书机构主要有国子监和下辖的各部院等。

明代有南北两京、两监、两院。南京国子监不但储集了元集庆路儒学旧藏的各路史书版，还接收了元代杭州西湖书院所藏刻版。据御史周弘祖（1535～1595年）《古今书刻》载，南京国子监印刷的书籍计有271种之多，其中包括儒家经典、史书、文学著作等，属科技类的有《农桑撮要》、《河防通议》、《营造法式》、《大观本草》等。科技类图书出版量的增加，与明统治者较为重视农工业生产显然有关。明代官方出版过许多大型书籍，尤其是道释类，由洪武五年（1372年）至永乐元年（1403年）在南京刻印了大藏经，俗谓“南藏”，计6331卷，57160块版[1][2]。北京内府刻印了三大部道释书，永乐十八年（1420年）至正统五年（1440年）又刻印大藏经，计6361卷，名《大明三藏圣教北藏》，简称“北藏”。万历时又增刻，总计达677函6771卷，180082页。永乐、万历时，皆刻藏文大藏经，称为“番藏”[2][3]。有学者认为藏文大藏经始刻于元[3]，经潘吉星考察，其实





非如此，元代只刻印过单独的佛经、经咒和佛像[4]。明代帝皇既信佛又通道，正统九年(1444 年)《道藏》刻印完毕，凡 480 函 5305 卷；万历三十五年又续刊，增 32 函，成为“正续道藏”，计有 512 函。

明代地方官府，如各省布政司、按察史、盐运司等，及各府、州、县也刻书，其中有方志，也翻刻朝廷印书机构的刊本。如应天府曾刻《茅山志》、《南畿通志》、《句容志》等。

在明代刻书机构中，还有一种既非朝廷内，亦非地方官府的藩王；张秀民谓其书为“藩府本”，其既多且精，这是明代印刷技术的一个特点，在其他时代是没有的。刻书藩王可考者约 43 家①，计 400 多种[5]。其中并不乏文人雅士和杰出学者，也刻印过不少很有价值的书籍。如明太祖第五子周定王朱橚（1362 ~ 1425 年），好学善赋，对医学和植物学皆有研究，著有《救荒本草》4 卷，并主编过《普济方》168 卷。据张秀民统计，他刻印的书计有 33 种之多[5]。

明代坊刻甚为盛行，其中较为集中的地方是南京、北京、杭州、苏州、常州、扬州、建宁、漳州、抚州、南昌、徽州等。其中刻书最多的应是福建的建宁，其自宋、元以来便负盛名。官刻本主要是一些制书、官书，及正统的经史子集释道类，但这远不能满足社会的需要，坊刻和私刻便在较大程度上弥补了这一不足。人们喜闻乐见的日用百科类图书和类于《三国志演义》、《忠义水浒传》、《西游记》、《牡丹亭》等小说、话本、戏曲类图书等多由他们刻印。这些作坊也刻印过《朱子语录》等理学书，《居家必用》等日用参考书，《武经七书》等军事书，以及《便民图纂》、《九章算法》、《马经》、《牛经》、《鲁班经》等科技类书[6]。

除官刻、坊刻外，当与宋代同样，明代也有个人刻书，习谓之家刻。如大家较为熟悉的宋应星《天工开物》，便是由其友人涂伯聚资助而付梓的[7]。清蔡澄《鸡窗丛话》载：“前明书皆可私刻，刻工极廉。”[8]

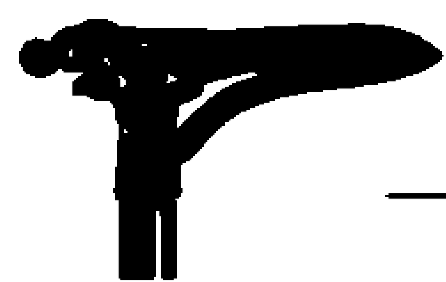
明代出版物的品种有了很大扩展，除一般经、史、子、集、释、道外，还出版了许多面向大众的通俗读物，如戏剧、小说、科学技术、方志、各种丛书、类书，以及部分西洋著作等，前此的任何一个朝代都不可与之相比。明代印刷技术的主要成就是：印刷字体开始规范化；雕版、彩色套印技术都有了更大的提高；木雕版技术更趋成熟，插图本剧增，画面更为复杂；在宋、元朱墨套印的基础上，发展出了多色套印技术，使印刷品真正地成了一种艺术品；饾版印刷的发明，把我国传统雕版彩色印刷发展到了顶峰；活字印刷此时也发展到了集大成的阶段；明代泥活字使用情况虽未见于记载，但木活字已推广开来，且还发明了铜活字，大约还使用了铅活字。

**一、印刷用宋体字的确立**

印刷字体不但反映了书籍质量，而且也反映了一个时代的艺术风格，并影响到生产效率的提高。

我国古代印刷字体的发展约经历了三个阶段：（1）随意期，从印刷术发明到北宋初期。此期印刷字体主要是由书写者决定的，除宗教印刷品外，随意性都较

① 此 43 藩王中，有 16 位为明太祖之子，此外还有成祖、仁宗、英宗、宪宗、穆宗、神宗等之子。





大，尤其是民间印刷品。这从唐代四川民间历书和咸通九年《金刚经》的比较上便可知悉，其印刷质量存在较大差异。（2）渐变期。从北宋初期到元代，印刷字体逐渐向艺术化、规范化方向发展。北宋印刷字体的基础还是楷书，但又不同于楷书，且吸收了欧、柳诸家笔法，其更注重结构匀称、大小统一和笔画粗细之适中。（3）成熟期，明代初期至中期。经过长期的探索，使人们认识到楷体并不能达到理想的印刷和阅读效果，从而创造了一种更适于刻版、印刷、阅读的字体，即今习之谓宋体字。明嘉靖、万历时期，是宋体字发展的黄金时期，此后印刷字体便完全确立了下来[9]。

在印刷字体确立的同时，有的明刊本还出现了一些简单的标点符号和批点符号等，有的版框上还附有按语、批语，这既便于人们阅读断句，亦便于掌握书中要点。

**二、图版印刷技术的大发展**

雕版印刷在明、清时期依然占据主导的地位，技术上也取得了相当高的成就，前述官方和民间印刷品中，相当大一部分都是雕版印制的。印刷字体的确立、图版印刷、纸币印刷、多色套印技术的发展，更增添了雕版印刷的光彩。

（一）图版印刷

保留至今的图版印刷实物始见于唐，宋、元时期有了一定增加，其始主要用在佛教物品，后扩展到了民用读物上。南宋已出现过一些图文并茂的通俗读物，元代的戏曲、小说、历史故事等出版物中，有的已配有相当数量的插图。及明，图版技术更有了长足进步，插图著作竟成了这一时期的主流：（1）具有插图的书籍量大增，每部书插图量大增。不仅戏曲、小说、人物传记、历史故事配有插图，即便一些严肃作品，如儒家经典、科技著作等也配有插图，这不但丰富了图书的内容和艺术性，而且提高了它的科学价值。如明李时珍《本草纲目》，初刻于万历二十一年，约190万字，有1109幅插图；明茅元仪《武备志》，初刻于天启元年，约200万字，附有各种图式、图案、图表、图像等1500余幅。明宋应星《天工开物》，初刻于崇祯十年，约6万余字，计有123幅插图，绘有286人。明代后期，还出版了不少以图为主的画册，如《高松画谱》（嘉靖二十九年）、《顾氏画谱》（万历三十一年）、《集雅斋画谱》（万历四十八年）等。（2）插图由朴拙走向工丽，由单一走上多变；技法娴熟，宏大壮观；工整秀丽，雅丽生趣。由于一些名画家、名刻家的结合和积极参与，使图版书籍成了较好的艺术品。

（二）宝钞印刷

明代除使用铜钱和白银外，还发行了纸币，在洪武和永乐时期，这种纸币皆称之为“大明通行宝钞”。重修《明会典》卷三一“户部·钞法”载：“国初宝钞，通行民间，与铜钱兼使。”“洪武八年，令中书省造大明宝钞，取桑穰为钞料。其制：方高一尺，阔六寸许，以青色为质，外为龙文花栏，横题其额曰‘大明通行宝钞’，内上两旁复为篆文八字，曰：‘大明宝钞，天下通行’。中图钞贯状，十串则为一贯。其下曰：‘户部奏准，印造大明宝钞，与铜钱通行使用。伪造者斩，告捕者赏银二百五十两，仍给犯人财产。’若五百文，则画钞文为五串，余如其制，而递减之。”上盖“宝钞提举司印”两大方朱印。“其等凡六：曰一贯、五百





文、四百文、三百文、二百文、一百文。”“每钞一贯，折铜钱一千文，银一两。”后因纸币发行过多而贬值。永乐二年，左都御史陈瑛曾提出收回发行过多的纸币，说：“比岁钞法不通，皆缘朝廷出钞太多，收敛无法，以致物重钞轻”。[10]明代中晚期，纸币发行便时断时续，再无明初的规模。这种贬值，自然是社会的原因，而非印刷技术之故。因纸币对纸张和印刷都要求较高，且因“大明宝钞”较现代纸币宽大，故今已成为举世瞩目的收藏珍品。

**三、多色套印技术的大发展**

朱墨套印，或多色套印在宋代便已出现，但直到元代为止，一般出版物依然多以单色印制。明万历（1573～1620年）之后，不少作坊竞相推出套色图书，套色印刷才获得了较大发展。尤其是饾版印刷的发明，使我国出版业进入了彩色印刷的新阶段，并把我国传统印刷技术推到了顶峰期。在套色工艺中，有朱墨两色的，也有朱、墨、黄、蓝、紫、墨绿中的三色、四色或五色的。套印既可用于版图，亦可用于文字。一些名家批点，便可用不同颜色把正文与批点文区别开来。

明代学者对这种套印技术亦早有记载。明胡应麟（1551～1602年）《少室山房笔丛》（万历十七年，1589年）卷四“经籍会通四”载：“凡印，有朱者，有墨者，有靛者，有双印者，有单印者。双印与朱，必贵重用之。”[11]这里谈到了两色和三色套印。此“双印”，当即朱墨二色，两张印版，两次印刷；“单印”即一张印版涂一色或两色、三色一次印刷。可见二色、三色印本在万历时期已较普遍。

明闵齐伋（1580～1650年?）在出版《春秋左传》（1614年）时所写“凡例”中道：“旧刻凡有批评、圈点者，俱就原版墨印，艺林厌之。今另刻一版，经传用墨，批评以朱，椅仇不啻三五，而钱刀之靡，非所计矣。置之帐中，当无不心赏，其初学课业，无取批评，则有墨本在。”① 闵齐伋，与凌蒙同为浙江乌程人，皆明代著名出版业者。据陶湘（1870～1940年）《闵板书目》（1933年）统计，闵、凌两家在万历、天启、崇祯三朝，所刊经史子集书籍达百种以上，多系彩色印本。由这段引文可知，当时已较多地使用了正文用墨，点评用朱的印刷方式。

叶德辉《书林清话》（1911年）卷八还谈过明代的朱墨套印、三色套印和四色套印，在谈到后者时说：“四色套印，则有万历辛巳（原注：九年）凌瀛初刻《世说新语》八卷，其间用蓝笔者刘辰翁（1232～1297年），用朱笔者王世贞，用黄笔者刘应登也”[12]。这是四色，即墨、朱、蓝、黄套印，时间是万历辛巳（1581年）。也有学者认为，凌瀛初刻的八卷四色套印本《世说新语》，其时间不是万历辛巳，而是万历末年[13]。

明人还把多色印刷广泛地用到了版画中，因版画所需色彩更多，人们在多色印刷方面的才智也得到了更好的表现和发挥。如万历三十三年（1605年），安徽歙县程氏滋兰堂刻印《程氏墨苑》，附有近50幅插图，多用四色、五色印出[14]。

本书宋代部分谈到，多色套印有多种不同操作：如一版多色一次印刷、一版多色多次印刷、多版多色多次印刷等。而后者又有三种不同操作，即“每版一色，

① 明闵齐伋为《春秋左传》所作“凡例”，置于该书之首。吴兴，闵齐伋刊本，万历四十四年（1616年）版。今习所见《春秋左传》无此“凡例”，转引自文献[13]。

多版色块，多次印刷”、“每版一色，多版线图，多次印刷”、“饾版印刷”。此“饾版印刷”则是多色套印的高级形式。关于《程氏墨苑》彩版的印色操作，学术界曾有不同看法，有人认为是“一版多色一次印刷”[15]，也有人认为是“一版多色多次印刷”，或“多版多色多次印刷”，后二说的理由是不同颜色交汇处很少发现色泽相混的现象[16]。这些皆可以进一步研究。

**四、饾版技术的发明和拱花技术的发展**

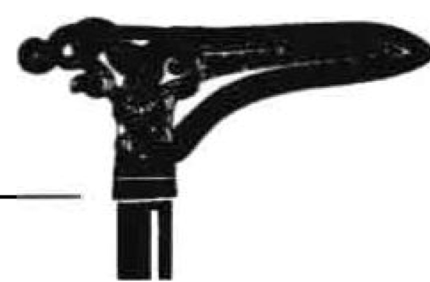
饾版印刷是一种特殊的雕版彩色套印工艺[17]，也是传统雕版彩色印刷的最高形式，其主要技术目的：是复制彩色绘画，而不是套印一般色块或一般色线，其印刷成品要忠于绘画原作。这是它的主要技术特点，也是它与一般套色印刷的主要区别。拱花实是砑花，是唐、宋以来纸加工工艺中的砑花纸技术在明代版画印刷技术上的应用和发展。

饾版印刷的操作要点是：“把每种颜色各刻一块木板，印刷时依次逐色套印上去，因为它先要雕成一块块的小板，堆砌拼凑，有如饾饤，故明人称为‘饾板’。饾板是很细致复杂的工作，先勾描全画，然后依画的本身，分成几部，称为‘摘套’。一幅画往往要刻三四十块板子，先后轻重印六七十次。把一朵花或一片叶，要分出颜色的深浅，阴阳向背。”[18]因所用色料多为水溶性颜料，故20世纪50年代之后，又有人称之为“木版水印”①。

饾版印刷约始创于明代中后期，有关实物和文字记述却是明末才看到的。明末书画家胡正言（1582？～1674年）主持刊印的《十竹斋书画谱》（1627年）和《十竹斋笺谱》（1644年）便使用了饾版技术。前者为画册，收录有胡正言本人和古人、明人凡30家名画，并讲授画法。其画由五色饾版套印而成[19]。如前所云，笺纸是一种艺术加工纸，经砑花、染色等加工而成，古人用作写信和写诗。《十竹斋笺谱》载有胡正言收录的和他自己设计的各种笺纸样品，有的以饾版印制彩色图案，也有无色的拱花制品。

文献上最早提到“饾版”和“拱花”两个名称，及饾版工艺的是《十竹斋笺谱》一书的“序”。此“序”为胡正言的同乡好友李克恭所撰。其云：“嘉、隆以前，笺制朴拙。至万历中，稍尚鲜华，然未盛也，至中晚而称盛矣，历天、崇而愈盛矣。‘十竹诸笺’汇古今之名迹，集艺苑之大成，化旧翻新，穷工极变……盖拱花、饾板之兴，五色缤纷，非不烂然夺目。然一味浓装，求其为浓中之淡，淡中之浓，绝不可得，何也？饾板有三难，画须大雅，又入时眸，为此中第一义。其次则镌忌剽轻，尤嫌痴钝，易失本稿之神。又次则印拘成法，不悟心裁，恐损天然之韵。去其三痴，备乎众美而后，大巧出焉。”“是谱也，创稿必追踪虎头龙眠，与夫仿佛雪松、云林之支节者，而始倩从事。至于镌手，亦必刀头具眼，指节通灵。一丝半发，全依削鐻之神，得手应心，曲尽斫轮之妙，乃俾从事。至于印手，更有难言，夫杉杙（yi，小木桩）棕肤（棕刷），《考工（记）》之所不载，胶清彩液，巧绘之所难施。”这里第一次提到了“饾板”、“拱花”两种工艺的名称，

① 昔有学者说“木版水印”之名始于清代中期之后，今承张树栋惠告，此名是20世纪50年代荣宝斋最先使用的，此名亦未必十分确切。





认为它们是天启以来才兴起的。文中提到的“三难”，是指饾版印刷过程中的原稿勾描、刻版、印刷三道工序，或三道技术关键。其内容即：（1）勾画既须大雅，又要符合时代精神。要依原画色彩的深浅、浓淡、阴阳背向之不同，勾画出若干个大小形态不一的印块。（2）镌刻要精细严密。必刀头具眼，指节通灵。使各画块严密接合。（3）严格地依画稿原貌配料、涂版，印成后须保持原画神韵。在具体操作上，饾版印刷所用纸张、水墨和颜料，皆须与原作相同，并须依原作的笔墨浓淡顺序分版设色，依次印刷。使印刷品与原作意境酷似，从而具有了中国水墨画的韵味和特点。其整个产品都忠于原画意境，不但形似，更要神似。这就克服了此前多色套印工艺中，用色呆板、意境与原作偏离较大的缺点。据杨绳信《中国版刻综录》一书统计，今藏于国家图书馆的明代套板印本计 23 种，其中包括胡氏十竹斋于崇祯年间印的《十竹斋画谱》八卷、《十竹斋石谱》一卷、《十竹斋兰谱》一卷，以及闵齐伋万历十四年印《考工记》二卷等[20]。

砑花技术在唐代之后的笺纸加工中一直都有使用，明代使之与版画结合在了一起，便把它推向了更高的阶段。胡正言在《十竹斋笺谱》中便使用了这一技术，较好地表现了画面的脉络和轮廓，充分地体现了无彩素笺的风格。

**五、木活字印刷技术的推广**

木活字约发明于宋、西夏时期，及元，南北许多地方都已使用，明代之后便在全国推广开来，并成了活字印刷的主流。明胡应麟《少室山房笔丛》卷四“经籍会通四”（1598 年）在谈到活版印刷时说：活版始宋毕昇，以药泥为之。“今无以药泥为之者，惟用木称活字云”[11]。其说明代已无泥活字，唯用木活字。充分反映了木活字在明代活字印刷中的主导地位。

明代木活字本今仍有不少传世，具体数字其说不一。张秀民认为有书名可考者约有 100 余种，多为万历印本[21]，亦有少数嘉靖本、正德本[22]，弘治以前者甚为罕见[21]。但可惜的是这些印本只有个别注明了活字材质，多数是未注材质的，加之明代木活字印刷已较成熟，排版较为精细，不易与雕版相区别，给版本鉴定带来一定困难。今举数例如下。

国家图书馆藏仁和卓明卿（1552～1620 年）编《唐诗类苑》一百卷，明万历十四年（1586 年）刊，每页版心（中缝）下方见有“崧斋雕木”4 字（图 8－7－1），知为木活字本无疑。崧斋雕疑即卓明卿雕[23]，该书很可能是自编自刊本。

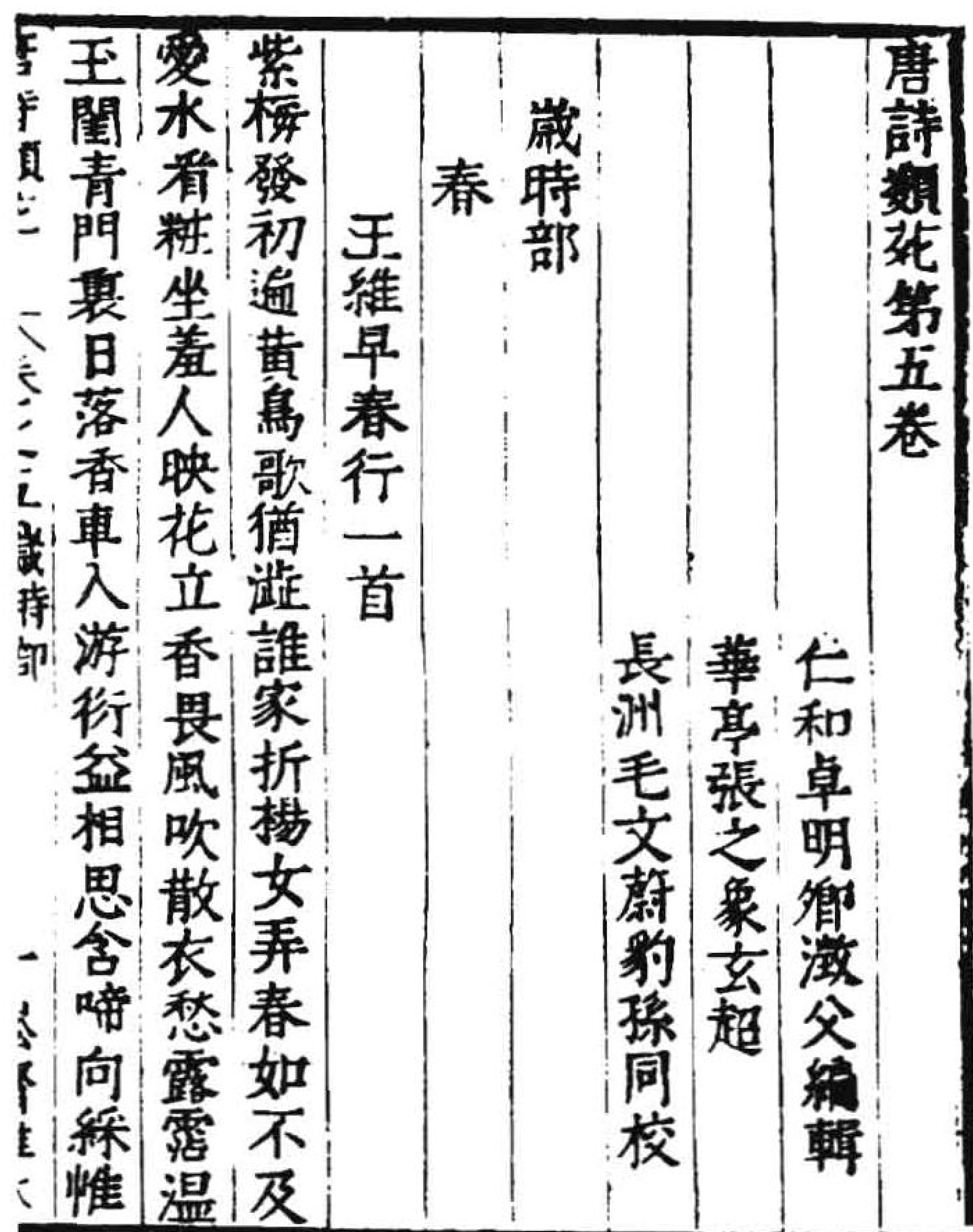

唐詩類苑第五卷
仁和卓明卿澂父編輯
華亭張之象玄超
長洲毛文蔚豹孫同校
歲時部
春
王維早春行一首
紫梅發初遍黄鳥歌猶澁誰家折楊女弄春如不及
愛水看粧坐羞人映花立香畏風吹散衣愁露霑濕
玉閨青門裏日落香車入游衍益相思含啼向綵帷

图 8－7－1　卓明卿编《唐诗类苑》木活字本

转引自文献[22]

但在明刊本中，这种标明了“雕木”等字样的本子是甚为鲜见的。今人所云“明木活字本”，多数都是一种推断。推断

方式是：（1）首先须判定它是一种活字本。有的是原书标明了为活字本的，有的则是从字体大小、排版方式等综合判断的。（2）在明代活字本中，木活字使用最多，泥活字极少，而金属活字大体上都标明了材质。如是，人们便把普通的活字本定成了木活字本。如南京图书馆藏正德、嘉靖间所刊刘达可（宋人）辑《璧水群英待问会元》九十卷，系备宋太学士对策用的参考书，卷末印有4行题记："丽泽堂活板印行/姑苏胡升缮写/章凤刻/赵昂印"。其中不但提到了出版商、写工、刻工、印工，同时还提到了"活板行"。依此便可知此书为活版，并知当时已有了专门从事活版印刷的作坊。又如徐兆稷所刊其父徐学谟（1522～1593年）《世庙识余录》二十六卷，书中所印题记为："是书成凡十余年，以贫不任梓，仅假活板印得百部，聊备家藏，不敢以行世也。活板亦颇费手，不可为继，观者谅之。徐兆稷白"。此也提到了"活板"。为此，一般学者便将之定成了木活字。其余不再繁举。明代使用木活字的主要是私人作坊和部分藩王府。官府是否使用过木活字，尚无确凿证据。

杨绳信《中国版刻综录》所录现存明代木活字本为16种，四川省图书馆藏10种、国家图书馆藏5种、杭州大学图书馆藏1种。其中包括万历十四年《唐诗类苑》100卷（国家图书馆藏），万历元年(1573年)《太平御览》1000卷(四川省图书馆藏）等[24]。

**六、铜活字印刷技术的大发展**

我国古代的金属活字发明于何时，学术界尚无一致意见。有学者认为发明于宋，且系铜活字，我们认为此说可能性是存在的，但目前尚无确凿的实物和文献依据。从现有较为确凿的资料看，我国最早使用的金属活字当是元代的锡活字，但因其着墨不佳，未能推广。铜活字印刷则是到了明弘治（1488～1505年）时期才发展起来的，万历时期便达到了相当繁盛的阶段。此时不但分布地域较广，且印书量也较大，许多铜活字本都保留至今。无锡、常州、苏州、南京、浙江、建宁、广州等地都有使用，据张秀民统计，明铜活字本约61种[25]，成了明代金属活字的主流。

在明代铜活字印刷中，使用较早，且成就较大的是无锡华氏家族，包括华理、华燧、华坚，其中又以华燧（1439～1513年）的会通馆为代表。有关华燧的事迹见于其友人邵宝所撰《会通君传》，其云："会通君姓华氏讳燧，字文辉，无锡人，少于经史多涉猎，中岁好校阅同异，辄为辩证……既而为铜字板以继之，曰'吾能会'而通之矣，乃名其所曰'会通馆'，人遂以'会通'称。"[26]此"铜字板"，显然是铜活字版。会通馆铜活字印刷至迟始于弘治三年（1490年），目前所见有《宋诸臣奏议》150卷，其计有大字本和小字本两种，书名前有"会通馆印正"五字。华燧在《〈宋诸臣奏议〉序》中说："燧生当文明之运，而活字铜板乐天之成。"[27]此"活字铜板"，当是"铜字板"的习惯说法。但此版质量较差，有的字只印出一半，有的浓滟邋遢，沾手便黑，且脱字较多[28]。稍后有弘治五年（1492年）的《锦绣万花谷》120卷，书中见有"会通馆活字铜板"字样。再后有弘治八年的《容斋五笔》74卷、《文苑英华纂要》84卷、《古今合璧事类前集》63卷。图8-7-2所示为国家图书馆藏《容斋随笔》弘治八年会通铜活字版[28][29]，华燧在其出版"序"中又说："燧当生文明之运，而活字铜版乐天之成"。会通馆铜活

字版可考者约 19 种，为明代诸铜活字印行之冠[28]。上海郁文博在明弘治九年版《说郛》序中说：“《（百川）学海》近在锡山华会通先生家翻刊，铜板活字盛行于世。”（“四库”本）可见由于华氏会通馆等的经营，铜版活字当时已相当盛行。据杨绳信《中国版刻综录》所载，今国家图书馆所藏明代铜活字本为 13 种，其中包括华珵弘治十五年（1502 年）印《渭南文集》50 卷、华坚兰雪堂正德十年（1515 年）印《艺文类聚》100 卷等。此外，其他图书馆还藏有明铜活字本 5 种[30]。

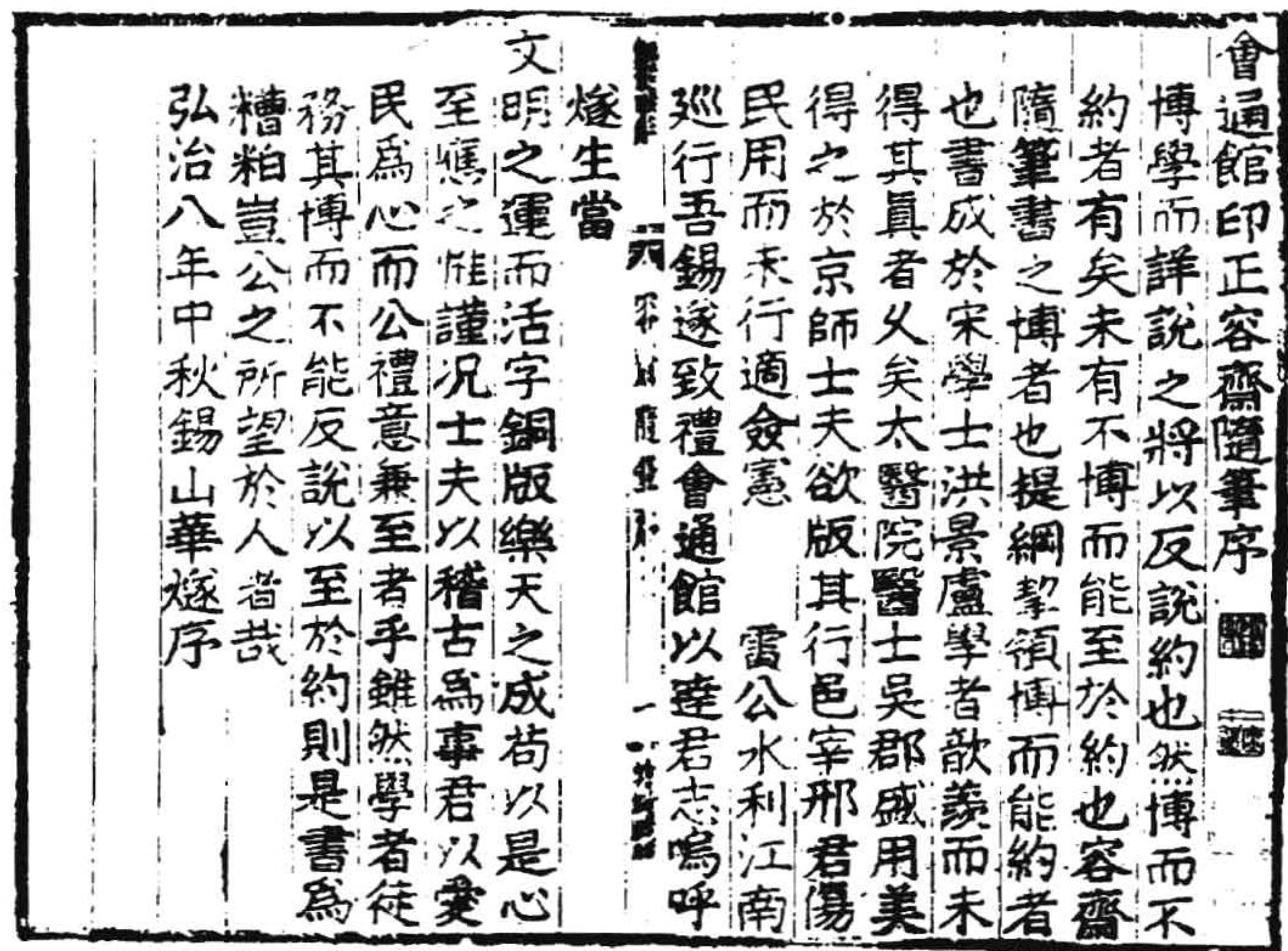
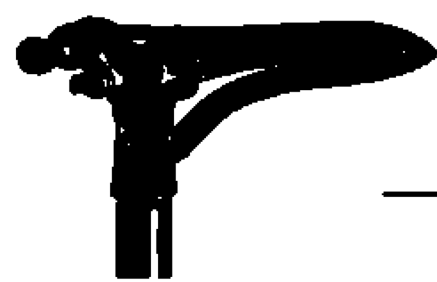

會通館印正容齋隨筆序
博學而詳說之將以反說約也然博而不
約者有矣未有不博而能至於約也容齋
隨筆書之博者也提綱挈領博而能約者
也書成於宋學士洪景盧學者歆羨而未
得其真者久矣太醫院醫士吳郡盛用美
得之於京師士夫欲版其行邑宰邢君陽
民用而未行適僉憲 雷公水利江南
巡行吾錫遂致禮會通館以達君志嗚呼
燧生當
文明之運而活字銅版樂天之成苟以是心
至憑之惟謹況士夫以稽古爲事君以變
民爲心而公禮意兼至者乎雖然學者徒
務其博而不能反說以至於約則是書爲
糟粕豈公之所望於人者哉
弘治八年中秋錫山華燧序

**图 8－7－2　《容斋随笔》弘治八年会通馆“活字铜版”**

采自文献[29]

除了华氏家族外，无锡安国（1481～1534 年）铜活字版也很有名气。其用铜活字印书约始于正德七年（1512 年）前后，当时南京吏部尚书廖纪修有《东光县志》六卷，请为代印，于正德十六年印成。安氏所印书籍，纪年者不多，但《吴中水利通志》却有些例外，书中标有“嘉靖甲申安国活字铜板刊行”等字样。清初安璇《安氏家乘拾遗》还更清楚地提到了铜活字的一些情况：“翁（安国）闲居时，每访古书中少刻本者，悉以铜字翻印，故名知海内。今藏书家往往有胶山安氏刊行者，皆铜字所刷也。”这里明白地说到了安国铸造了“铜字”。可见，《吴中水利通志》中的“活字铜板”，便是铜活字版。安国印书多为铜活字，亦有木活字[28]。

对明代铜活字的制作工艺，学术界一直存在一些不同说法。张秀民认为：“因无明确记载，又无实物留传，是铸是刻，仍难肯定。”[31]尤丹立则认为：“安国铜活字应是铸造而成。至于华氏铜活字，因史料有限，不敢妄加断言。”[32]我们认为，一般的铜活字，不管明代还是清代，也不管是安国的还是华氏的，若无确切资料证明它是直接镌刻而成，则一般都应当是铸造的。这是由铜的硬度和当时的加工技术条件所决定了的。铸字过程中的缩孔、组织疏松等常见缺陷，都可采取适当措施，使之离开活字版面稍远。铜活字的铸造工艺约与铸印章法相类同，先雕木模，后以木模制泥范，再以泥范铸字。明文彭《印章集说》载：“铸印有二：曰翻





砂，曰拨蜡。翻砂以木为印，复于砂中，如铸钱之法。”

在此须得一提的是，华燧所用活字的材质，长时期来学术界都是存在不同看法的。有人认为它是锡活字，其文献依据主要是《华氏传芳集》卷四“会通府君宗谱传”所云：“着《九经韵览》，又虑稿帙汗漫，为铜板锡字，翻印以行”。类似的文献还有一些，说法大同小异，当同为一个来源，不再列出。李致忠认为：“字义很明确，应该是范铜为板，铸锡为字。板本家所说的明代铜活字，很可能是铜板锡活字的简称。”[33]张秀民则认为，华燧“除造铜版活字外，似乎又铸过锡字”[34]。我们比较倾向于张秀民的说法。首先应当肯定的是，华燧使用的主要是铜活字：（1）前引《会通君传》所云“铜字板”，其意也十分明确，是为铜字。（2）前引文献中，“活字铜板”之说虽不是十分明确，但由安国“活字铜板”诸事便可知悉，它便是“铜活字板”的习惯说法。但也不能排除华燧使用过锡活字的可能性，因部分文献说得十分明确，只不过其数量可能较少，或不太成功，连华燧自己也把它忽略了。如前所云，华燧分别于弘治三年和弘治八年为《宋诸臣奏议》和《容斋随笔》所写“序”言中，都只说了“活字铜版”，并未说过“铜板锡字”；而弘治五年出版的《锦绣万花谷》上印有“会通馆活字铜板”，亦未提到“铜板锡字”。若用了锡活字，他应当说明一下的。又，与华燧同时的唐锦《龙江梦余录》（弘治十七年刻本）云：“近时大家多镌活字铜印，颇便于用”。此“活字铜印”，当非锡活字。此“大家”，自然包括华氏家族。依唐锦之说，当时的大出版商所用多为活字铜版。

有关“活字铜版”的技术资料较少。此“铜”自然不会是纯铜，而应是锡青铜，或以锡为主要合金元素的三元、四元合金，除锡外，可能还含有少量的铅或锌。我们认为，影响铜活字成分的因素至少有三：（1）金属冷凝过程中体积收缩较小；（2）具有一定的机械强度；（3）着墨性能稍好。故其含锡量应当适中，太高则脆，过低则柔。锡青铜在冷凝过程中的体积收缩是最小的，更有利于保证字迹清晰。战国至汉、唐铜镜便是一种以锡为主要合金元素的铜锡铅三元合金，其图纹甚为清晰，与其体积收缩较小是有关的[35]。

我国的雕版印刷、活字印刷发明出来后，很快便传到了其他国家，并促进了各国印刷技术、文化事业的发展。在此值得一提的是朝鲜，中朝两国山水相连，文化技术上的交流甚为频繁，其印刷术亦发展较快，并较早就取得了较高成就，尤其是金属活字，其中主要是铜活字印刷。大约还在高宗二十一年（1234年，南宋端平元年），便用铸制的金属活字印刷了《详定礼文》五十卷，宰相晋阳公崔怡在《新序详定礼文跋》中说：“遂用铸字印成二十八本，分付诸司藏之。”此“跋”是翰林学士李奎报代为起草的[36]。此“铸字”一般认为即铜活字。李奎景认为：“铸字，一名活字，其法之流来久矣。中原则布衣毕昇刱活版，即活字之谓也。我东则始自丽季。入于国朝（李朝），则太宗朝命铸铜字。”[37]可见朝鲜活字技术是由中原传去的。据日本加茂仪一的分析，朝鲜1455年乙亥铜字成分为：铜79%、锡13%，此外还有少量锌、铁、铅。这是以锡为主要合金元素的铜合金，铁为杂质，铅锌可能是有意加入的。这种成分选择不错，强度适中。

关于铜活字的铸造方法，朝鲜李朝学者成俔（1439～1504年）《慵斋丛话》卷

七曾有明确记载："大抵铸字之法，先用黄杨木刻活字，以海浦软泥平铺印板，印着木刻字于泥中，则所印处凹而成字。于是合两印板，镕铜从一穴泻下，流液分入凹处，一一成字，遂刻剔，重复而整之。"其印刷过程的分工十分明确，且有一整套工艺规范。同卷接着说："遂分诸字贮于藏柜。其守者曰守藏，年少公奴为之。其书草唱准者曰唱准，皆解文者为之。守藏列字于书草上，移之于板，曰上版。用竹、木、破纸填空而致坚之，使不摇动者，曰均字匠。受而印之，曰印出匠。其监印官则校书馆员为之，监校官则别命文官为之。始者不知列字之法，融蜡于板，以字着之，是以庚子（1420 年）字尾皆如锥。其后始用竹木填空之术，而无融蜡之费，是知人之用巧无穷也。"[38]

**七、铅活字的使用**

我国古代关于铅活字的记载约始见于明弘治末至正德初年（1505 ~ 1508 年）。陆深《金台纪闻》载："近日毗陵人用铜、铅为活字，视板印尤巧便，而布置间讹尤易。"这是我国古代文献中，关于铅活字的最早记载。但它印刷过何种书籍，今已不得而知。显然，陆深对铅活字是不太满意的。其根由，正如金简《武英殿聚珍版程序》所云："陆深《金台纪闻》所云铅子之法，则质柔易损，更为费日损工矣。"[39]看来，明代铅活字的缺点主要是其"质柔易损"。后面我们还要谈到，铅活字在我国民间其实是或隐或现，常见有人使用的，只不过数量较少而已。因纯铅较软，故我们推测，这种铅活字很可能是一种以铅为基的铅锡二元合金，此外可能还含有少量其他金属元素。至于它与 1851 年之后的香港"铅活字"在合金成分和使用性能上有何异同，今已难得知晓。

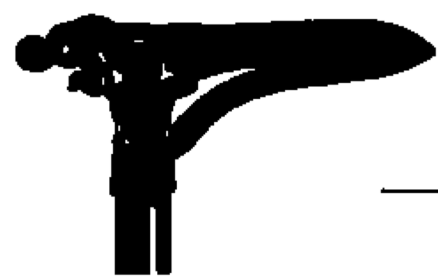
**八、制墨技术的长足进步**

明代是我国古代制墨技术发展的一个重要阶段。由于出版业和整个文化事业的发展，使墨的产量、质量和品种都有了较大的提高和扩展，并把我国古代制墨技术提高到了较高的水平。明代南北方都产墨，北方有京墨；南方有徽州墨、松江墨、龙游墨、建阳墨等，其中最著名的是徽州墨。徽州墨不但产量大，而且质量好。明末宋应星《天工开物》说："凡造贵重墨者，国朝推重徽郡人。或以载油之艰，遣人僦居荆襄、辰沅，就其贱值桐油点烟而归。"[40]徽墨原料主要是黄山松烟，也使用油烟，其盛名一齐流传了下来。明代制墨专著较多且较为详细，如姑苏沈继孙《墨法集要》、奉新宋应星《天工开物》[40]、徽州程君房《墨苑》、徽州方于鲁《墨谱》等。此期也出现了许多名家里手，此徽州程、方二氏便是其中的代表。见于考古发掘的明代墨块有朱檀"蓬莱进余"墨等①[41]。

（一）制墨烟煤的制取

与宋代同样，明代制墨烟煤（炭黑）有松烟和油烟两种，其松烟可直接用松枝烧造，也可直接用松香烧造。不管哪种工艺，此时都已发展到了相当完善的程度。

① 朱檀墓的墨块长 19.5 厘米、宽 3.4 厘米、厚 1.0 厘米，圆首方底，四边有栏，模制而成，正面上首饰有团龙，篆文墨名"蓬莱进余"；背面上首有"吉甫家子昌法"6 字，下有七绝一首："墨法家传岁月深，高山流水有知音；蓬莱宫里曾经进，一寸真如一寸金"。





1. 松烟及其制作工艺

宋代之后，卧式窑基本上取代了立式窑，明代松烟窑的结构和原理与宋代基本一致。宋应星《天工开物》载："凡烧松烟，伐松，斩成尺寸；鞠篾为圆屋，如舟中雨篷式，接连十余丈。内外与接口皆以纸及席糊固完成。隔位数节，小孔出烟，其下掩土砌砖先为通烟道路。燃薪数日。歇冷入中扫刮。凡烧松烟，放火通烟，自头彻尾。靠尾一二节者为清烟，取入佳墨为料。中节者为混烟，取为时墨料。若近头一、二节，只刮取为烟子，货卖刷印书文家，仍取研细用之。其余则供漆工垩工之涂玄者。"[40]这里简述了松烟窑的结构和烧烟的基本过程，并说第三等松烟，是用来制作印刷用墨的。另外，在这段引文前，宋应星还说过制墨松枝要去除松香的话，云："其余寻常用墨，则先将松树流去胶香，然后砍木。凡松香有一毛未净尽，其烟造墨，终有滓结不解之病"[40]。其实是未必如此的。引起"滓结"的不应是松香，而是其他原因。下面我们还要谈到，明代还有人专用松香烧烟制墨的。

2. 油烟及其制作工艺

油烟主要用来制作优质墨，此技术约始于宋，明代便达到了兴盛的阶段。宋代用油主要是石油、桐油等少数几种，明代则因地制宜，开发了多种使用本地油料制墨的新工艺。宋何薳、明宋应星、沈继孙、宋诩等都认为桐油烟制墨是最佳的。沈继孙《墨法集要・浸油》云："古法惟用松烧烟，近代始用桐油、麻子油烧烟；衢人用皂青油烧烟，苏人用菜子油、豆油烧烟。"并说"桐油得烟最多，为墨色黑而光，久则日黑一日。余油得烟皆少，为墨色淡而昏，久则日淡一日"[42]。明宋诩《竹屿山房杂部》卷七"燕间部・文房事宜・墨"载："墨取桐油烟为上，豆油烟次之。经灯草一茎然者煤细，二茎较麤，三茎则太麤矣。胶少烟细为佳。"[43]明人对油烟制墨也较重视，沈继孙《墨法集要》所述主要为油烟墨，其中包括"浸油、水盆、油盏、烟椀、灯草、烧烟、筛烟、镕胶、用药、搜烟、蒸剂、杵捣、秤剂、锤炼、丸擀、样制、印脱、入灰、出灰、水池、试研"，计21道工序，都作了详细说明；就连明邝璠（1465～1505年）《便民图纂》（1493年）这种日用百科类图书，所述制墨工艺也是油烟墨，而未谈及松烟。

制作油烟的装置由油盏、烟碗、水盆三部分组成。油盏置于冷却用的水盆中，水盆近底处留一小孔，以作换水用。油盏"用壮厚缸砂"制成，内置一优质灯草。油盏之上覆盖一个内面光滑的长柄烟碗，此碗"用淘炼细土烧"成，以承接烟黑。在一个干净明亮，且不通风的密室内，安置类似的十套制烟装置（油灯），便可添油烧烟[44]。

烧烟宜在深秋初冬进行。"烟椀盖之，勿见风，致烟落。约四五刻扫烟一度，则一度剔去灯草"。扫烟时，"须以空烟椀一只，替下有烟椀"。"每日约扫二十余度，扫迟则烟老，虽多而色黄，造墨无光，不黑"。看来，这主要是某些挥发性物质增加了的缘故。"夏烟亦老，频换冷水及减灯草为良"。这是用降温的办法来减少挥发性物质的析出。"每桐油一百两，得烟八两"[45]。

制墨原料由松烟发展到油烟，是一个较大的进步。油烟的优点是，炭黑粒度较细、黑度较高，且可提高墨的光泽，能产生"一点如漆"的效果。但从总体上



看，我国古代制墨原料，主要还是松烟，明宋应星《天工开物》说："凡墨，烧烟凝质而为之，取桐油、清油、猪油烟为者，居十之一；取松烟为者，居十之九"[40]。

3．松香制墨技术

松烟通常都是用松枝制取的，明时，有人直接用松香制取松烟，并以之掺和油烟一起制墨。明方瑞生《墨海书》卷三云："清油、麻子油，沥青作末，各一斤，先将二油调匀，以大碗一只，中心安麻花，点着，旋旋操入沥青。用大新盆盖之周，回以瓦子衬起，令透气，熏取以翎子扫之。"[46]此"沥青"即松香，这里谈到了以清油(茶子油)、麻子油与松香混合制墨。

杨慎《升庵外集》卷一九也有类似的说法："古墨惟以松烟为之。近世称徽墨率用桐油烟，既非古法。""元有朱万初，善制墨，纯用松烟。""余尝谓松烟墨深重而不姿媚，油烟墨姿媚而不深重，若以松脂为炬取烟，二者兼之矣。"[47]此认为松脂烟制墨兼具了油烟和松枝烟的优点。

单用松香烟制墨的工艺约始于清代的谢崧岱，他是著名的"一得阁墨汁"创始人，他在《南学制墨札记》一书中曾对松香烟制墨工艺作了详尽的记述。

（二）炭黑粒度分级技术的发展

依现代技术原理，衡量炭黑质量的标准主要有二：一是粒度；二是挥发性物质的吸附量。通常强调的主要是粒度，粒度越小，表面积越大，也越黑。在宋和宋代以前，不管立式窑还是卧式窑，皆主要采用风选法，依炭黑离火的远近使烟黑自动分级；明代又发明了一种浮选分级法。《天工开物》载："凡松烟造墨，入水久浸，以浮沉分精悫。"[40]悫，粗厚。浮选法在采矿等技术中使用较早，炭黑浮选技术与之显然是一脉相承的。

（三）对添加剂认识的提高

宋人制墨使用添加剂数量较多，明代之后，添加剂数量有所减少，认识上却有了较大提高。明沈继孙《墨法集要・用药》条说："用药之法非惟增光、助色、取香而已，意在经久，使胶力不败，墨色不退，坚如犀石，莹泽丰腴，腻理可爱，此古人用药之妙也。"并进一步指出："药有损有益，须知其由，且如绿矾、青黛，作败；麝香、鸡子青引湿；榴皮、藤黄减黑；秦皮书色不脱；乌头胶力不騡；紫草、苏木、紫矿、银朱、金箔助色发艳，俗呼艳为云头。鱼胶增黑，多则胶笔锋，牛胶多亦然。"为掩盖胶、煤的气味而多用香料，这是"欲其香，不知为病，损色，且上甑一蒸之后，香气全无，用之何益"？其认为最好的香料是蔷薇露，"其香经久不败"。并认为墨的质量主要取决于烟、胶的质量和比例，及其加工技术，添加剂只能起到辅助作用："然欲墨之黑，一须烟淳，二须胶好而减用，三须万杵不厌，此不易之法，不可全藉乎药也"。显然这是人们对添加剂一种较为正确的认识。

（四）和制

和制的一个关键是掌握好煤、胶比，明代对此已有了更深的认识。明沈继孙《墨法集要・熔胶》条载：桐油烟 10 两，依季节之差别，牛胶量为 4.5 ~ 6.0 两，药水量相应为 10 两至 9 两；松煤 1 斤，牛胶量为 4 ~ 5 两，药水四时俱用半斤。从

总体上看，"春冬宜减胶增水，仲夏、季夏、孟秋宜增胶减水"。这里谈到了季节问题，其实就是空气湿度、温度对和墨的影响。油煤与松煤用胶量的差别，主要是考虑了粒度的缘故。因油烟通常粒度较小，故比表面积较大，充分浸润和粘结所需的用胶量较多，故和制时，油烟用胶量应较松烟稍大。

据《墨法集要》等所载，炭黑与胶水混合后，还要经过搜烟，即揉烟，用揉的方式使胶、烟混匀；之后用布包好，入甑蒸煮十数沸，目的是在高温，以及随之而来的胶水粘性下降、流动性增大的情况下，利用蒸汽促进炭黑的充分润湿。之后取出，用臼杵反复舂捣练熟，再冲打并成型。经过搜、蒸、杵、冲，炭黑便达到了最佳润湿和分散的状态。

## 第八节　火药火器技术的空前发展

明代是我国古代火药火器技术大发展的一个重要阶段，不管操作上还是认识水平上，都有较大提高，有关记载亦较详明。硝、硫、炭的选择、加工、配制都更为精细，并形成了一套较为成熟的工艺规范。有关配比更趋于合理，人们对硝、硫、炭在火药中的地位已有了较深认识，并将它们之间的关系形象地喻之为君、臣、使。我国古代火器约可分为四种基本类型，即燃烧型、爆炸型、管型（又包括喷火筒型和射击管型）、喷气型。明代在继承宋、元爆炸型、发射型、燃烧型三类火药的同时，主要发展了发射型、爆炸型。在发射型火器中，初步形成了枪、炮、火箭等品种；在爆炸型火器中，则产生了定时爆炸弹和地雷、水雷等品种，从而初步构成了我国古代热兵器体系的雏形。

### 一、火药技术的发展

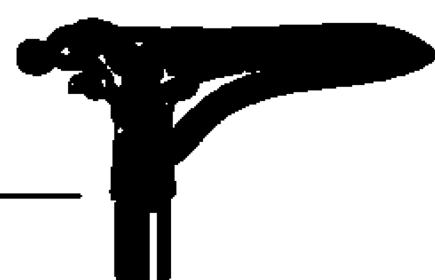
（一）火药配方的发展

我国早期火药是较为原始的，一是组分较为复杂，二是配比不太合理。明代便逐渐成熟起来，尤其是中、后期。

明代初期火药配方在宋、元基础上又有了一些进步。据《高丽史·恭愍王世家》载：洪武六年（1373 年）十一月，为抗击倭寇，高丽恭愍王派密使请明廷颁降各种战用物资，以济度用，其中主要有"船上合用器械、火药、硫黄、焰硝等物"。次年五月，明廷命拨"五十万斤硝，十万斤硫黄"等，供其制造火药之用[1]。可见，此调拨高丽的硝、硫比为 5:1，换成百分比成分则为：硝 83.33%、硫 16.67%；若再配入适量的炭，便是一种较好的发射火药。

明代中期以后，火药技术有了明显的进步。其大体上亦可分为两大类：一是枪炮所用的发射火药，并包括辅助性的火门火药、火线火药等；二是爆炸型、发烟型火药等。此两类都是在宋、元火药基础上改进而成的，个别配方大约还吸收了国外的优点。

发射火药。这在唐顺之《武编》"前集"（成书于 1559 年）[2]、戚继光《纪效新书》（约成书于 1560 年）[3]、何汝宾《兵录》（成书于 1606 年）[4]、赵士桢（1553～1611 年）《神器谱》[5]、茅元仪《武备志》（1621 年初刻）[6]等兵书中都有记载。《纪效新书》卷一五"布城诸器图说篇"载："制合鸟铳药方：硝一两（75.76%）、





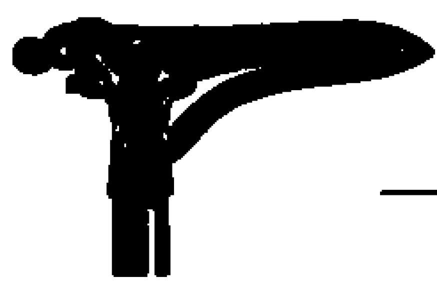
熿一钱四分（10.6%）、柳炭一钱八分（13.64%）。”[3]《兵录》卷一一“火药方”载：“制火药，每料用硝五觔（71.43%），黄一觔（14.29%），茄杆灰一觔（14.29%）。”[4]（与《武备志》卷一一九“军资类·制火药方”条完全一致）“又法，制火药，每硝十两（83.33%），灰一两五钱（12.5%），磺五钱（4.17%）。”上述文献中提到的“熿”、“磺”、“黄”皆指硫磺。总体上看：(1)明代中、晚期，三元配方已基本确定下来。丘濬《大学衍义补》（成书于1487年）卷一二二“严武备·器械之利下”说得十分明白：“今之火药用硝石、硫黄、柳炭为之。”虽火药中也常加入其他一些物质，那只是为了实现某目的而采取的辅助措施。(2)硝、硫、炭的比例已相对稳定，含硝量多在70%以上，含硫4%～15%，含炭8%～15%，与近代黑火药已较接近，从而具有了燃烧快、威力大的特点。(3)部分火药配方往往为多部兵书引用，说明其已经过反复试验，这也是火药技术趋于成熟的一种表现。

《兵录》卷一三还附有“西洋炼造大小铳火药法”，云：“大铳配药方：硝六觔（75%）、磺一觔（12.5%）、炭一觔（12.5%）。小铳配药方：硝六觔（72.73%）、磺一觔二两（13.64%）、炭一觔二两（13.64%）。”[4]其中的小铳方配磺量另外还记有两个数据，即：“或十六两二钱，或十五两”。可见上云《兵录》中一些传统火药方与此甚为接近。

爆炸、喷射、发烟型火药。这在多部著作中都有记述。《武编》“前集”卷五“火”载：“（黄居）硝六分之一，爆伏（仗）用之。黄居硝三十分之一，灰居硝五分之一，为下料，为行火药，火箭、流星、地老鼠及药线用之。”“黄居硝三分之一或四分之一，灰居硝四分之一，为上料；凡纸筒、纸毬、梨花竹筒、瓦罐敞口之物、火箭头上及锳(铁)炮欲炸者用之。黄居硝二分之一，古火毬、烟毬用之。黄居硝十分之一，为中料；灰同为中料，凡铳炮及鸟铳用之。”[2]可见，此“下料”的百分比成分为：硝81%、黄(硫)2.7%、炭16.22%；其含硝量尤高，含黄(硫)量较低，古云“有硝无黄为药线”[2]，所以下料主要作火箭流星和浸泡药线用。此“上料”的百分比成分为：硝66.67%、黄(硫)16.67%、炭16.67%；其含黄(硫)、含炭量都较高，古云“黄多则能发火”[2]，故上料主要作爆炸型火药用。“中料”百分比成分为：硝83.33%、黄(硫)8.33%、炭8.33%，为发射型火药。

在此有两点值得注意的是：虽火药的基本组分是硝、黄(硫)、炭三物，但古人早已注意到，同一原料的不同品种，其性能还是有差别的，尤其是硫和炭。如三黄，《兵录》卷一一“火攻药性”条载：“雄黄气高而火焰（原注：神火以雄为君），石黄气猛而火烈（原注：信火以黄为君），砒黄气息而火毒（原注：毒火以砒黄为君）。”[4]又如炭，《武编》“前集”卷五云：“杉灰为紧药，轻煤为慢药。柳枝灰、茄楷灰最轻，而易引火。瓢灰、蜂窝灰则又轻矣。”[2]人们皆可依据不同需要来选择黄(硫)和炭的种类。

在讨论明代火药时，《火龙经》一书也是值得一提的，其中载有十几个火药配方，从组分数量看，其大体可分为两种类型：(1)三元配方。如，“爆火药：硝四两（91.32%）、杉灰八分（1.83%）、硫火三钱（6.85%）”。“砲火药：硝火十两（46.51%）、硫火六两（27.91%）、葫灰二两（9.30%）、箬灰二两（9.30%）、石黄一两（4.65%）、雄黄五钱（2.33%）”。此“灰”即炭，下同。若将灰、黄





(硫)作一简单集合，“砲火药”的成分则为：硝46.51%、黄(硫)34.89%、灰18.6%。(2) 多元配方。即为了不同需要，在硝、硫(黄)、炭外，另加入其他一些物质，如黑烟药：“硝火一两、硫火二钱、木煤三钱、灰三钱、生皂角三钱……乃黑夜白日埋伏要地为号记认之法也”[7]。可见：其部分火药配方已剔除了多余的组分，使硝、硫、炭在火药中的作用得到了加强，但硝、硫、炭的配比尚不太合理。只可惜此书的成书年代不是十分具体。其原题作“永乐十年……焦玉自序”，今人冯家昇认为是元末之作；马成甫、刘仙洲、潘吉星等认为成书于明初；成东认为其虽为明初之作，但掺有年代稍后的资料；钟少异则认为其可能成书于嘉靖后期至万历末年时；李斌认为此书可能到嘉靖末年才有抄本流传，是成书较晚的一部伪作，对其在火器史中的地位不应估价过高[7]。众说纷纭，需要进一步研究。

（二）火药加工技术

人们对火药技术一直在进行不断地探索。明代中、后期，随着火器技术的发展，有关操作更为讲究，尤其是硝、硫的提纯和火药的合成，多种文献中都有记载。

1. 硝的刮取和提纯

我国天然硝石一般杂质较少，经浸洗、熬炼、再结晶后，便可得到纯度较高的硝石。具体操作则因地制宜，各有特色。

宋应星《天工开物》卷一五所载较为简明：“凡消刮扫取时（原注：墙中亦或迸出），入缸内，水浸一宿，秽杂之物浮于面上，掠取去时，然后入釜，注水煎炼。消化水干，倾于器内，经过一宿，即结成消。其上浮者曰芒硝，芒长者曰马牙硝（原注：皆从方产本质幻出）……欲去杂还纯，再入水煎炼。入莱菔数枚同煮熟，倾入盆中，经宿结成白雪，则呼盆消。凡制火药，牙消、盆消功用皆同。”[8]其中的“消”、“硝”同。可见此提纯之法有二：一是浸洗、煎炼，即利用溶解法和浮选法去除部分杂质。为提高纯度，还可再次入水煎炼。二是利用莱菔，即萝卜吸附，以分离部分杂质。

《武备志》卷一一九在某些方面说得更为详细，其中较值得注意的是：(1) 提硝之水可以是泉水、河水、池水或甜井水。(2) 第一次煎煮后，须下“小灰水”，即草木灰水，使灰水中的碳酸钾与硝石中的部分可溶性钙盐相互作用，生成碳酸钙沉淀，以分离部分钙质[6]。《神器谱》“制硝”条说还须向硝石溶液中加入大红萝卜一个、鸡卵清三个、水胶二两，且须以铁勺搅拌[5]。

硝经提纯后，便须焙干、研细。焙干时，“少者用新瓦焙，多者用土釜焙，潮气一干，即研末”[8]。

2. 硫的提纯

《武备志》卷一一九“军资乘·提黄法”条载：“提黄，每锅用水五六碗，烧滚，然后下黄三四十斤，煎开。出在磁盆内，澄一日，去黄底坐（即底部沉淀物），用黄稍。将底坐加水入锅，再煎、澄，通用黄稍。”其中的“稍”同“硝”。该书接着还谈到了另一种方法，即向锅内加入麻油，后再加硫与之共同煎炼，同时还要另加青柏叶入油内[6]。



3. 炭的加工

各书所载方法较多。《神器谱》"炭灰"条载："炭灰须用柳条，如笔管大者，去皮、去节，取其理直者用以烧灰入药为上。南方柳木甚少，用茄秆灰、蒿灰、瓢灰、杉木灰以代柳木。""草木之中，惟榆柳桑柘诸木火性更旺；诸木之中，又惟柳木枝杆直上，火性直走，余皆枝干曲折，文理从（纵）横，且质坚炭硬，火性不甚轻便。"[5]

4. 火药的配制加工

戚继光《纪效新书》谈到前述鸟铳火药的制作时说："通共硝四十两，熿五两六钱，柳炭七两二钱，用水二钟。舂得绝细为妙。秘法：先将硝、熿、炭各研为末，照数兑合一处，用水二碗，下在木桕，木杵舂之。不用石椿(杵)者，恐有火也。每一桕舂可万杵。若舂干，加水一碗又舂，以细为度。舂之半干，取日晒打碎，成豆粒大块。此药之妙，只多舂数万杵也。大端如制合好墨法相类。""将人手心擎药二钱，燃之而手心不热，即可入铳。但燃过有黑星白点，与手心中烧热者，即不佳。又当再加水椿(舂)之，如式而止。"[3]可见其基本操作为：（1）将硝、硫、炭分别碾细，之后依比例用水兑合。（2）下木臼中万杵之。不得用石臼。杵干后可加水再舂，以细为度。（3）舂至半干时，取出晒干，并打碎成豆粒大。是为成品。（4）检查质量之法是：燃烧快、无渣滓、手心不热者为佳；有黑星白点，说明舂杵不充分，燃烧不完全，则须再舂。这显然是一种经验之总结，却既严格又科学。相类同的记载在《武编》"前集"、《天工开物》等多种书籍中都可看到。

（三）火药理性认识的提高[9]

大约从唐代起，人们对硝、硫、炭在火药中的地位便逐渐有了一些认识，经宋、元、明三代的实践，这种认识便逐渐清晰起来，我国古代的火药理论逐渐形成。这种理论在火药配方中得到了体现，更为重要的是，还在文字上明确地表现了出来，使人们的认识得到了进一步深化。这主要包括三方面内容：（1）硝、硫、炭三者中，谁个为主、谁个为辅；（2）三者间的配比；（3）在发射和爆炸过程中，谁个"主直"、谁个"主横"。

1. 用"君、臣、使"来比喻硝、硫、炭在火药中的地位

在现有文献中，较早提起这一问题的是唐顺之《武编》"前集"卷五"火"条，其云："虽则硝硫之悍烈，亦藉飞灰而匹配。验火性之无我，寄诸缘而合会。硝则为君，而硫则臣，本相须以有为"。"惟灰为之佐使，实附尾于同类。""臣轻君重，药品斯匀，烈火之剂。一君二臣，灰硫同在臣位，灰则武而硫则文。剽疾则武收殊绩，猛炸则文策奇勋。虽文武之二途，同输力于主君。"可知，依唐顺之所言，硝、硫、炭三者在火药中的关系，就如同君、臣、使；它们是"一君二臣"，既是"臣轻君重"，又须相辅相成，硫、炭须"同输力于主君"。这种比喻虽未必十分科学，但还是有一定道理的，何汝宾《兵录》卷一一"火攻药性"条、茅元仪《武备志》卷一一九"火药赋"等，都沿用了这一说法。

2. 用"君、臣、使"来比喻硝、硫、炭在火药中的配比

此说亦首见于《武编》"前集"卷五"火"条，其云："药不精专，虽多亦少；





药能精制，以少为多。过与不及兮，失其调剂；用之适中兮，燮理平和。灰硝少文，虽速而发火不猛；硝黄缺武，纵燃而力慢。奈何弃武用文，势既偏而力弱，堪成白火之用；弃文用武，事虽济而力穷。”意思是说，硝、黄、炭三物均须精制，配料比例必须控制得当，谁过多，谁过少，都会造成不良影响。这与现代技术原理是基本相符的。茅元仪《武备志》卷一一九“火药赋”等都引用过这一说法。

3. 用“硝性竖、硫性横”来表述硝、硫二物的燃爆特性

此说亦首见于《武编》“前集”卷五“火”条，其云：“硝性竖而硫性横，亦并行而不悖。”“（灰）善能革物，尤长陷阵，性炎上而不下，故畏软而欺硬。”①《武备志》卷一一九“火药赋”也援引了这一说法。《兵录》卷一一“火攻药性”条对此作了进一步的发挥，且说得更为具体、明白。其云：“硝性主直（原注：直发者以硝为主），硫性主横（原注：横发者以硫为主），灰性主火（原注：火各不同。以灰为主，有箬灰、柳灰、杉木灰、梓灰、胡灰之异），性直者主远击，硝九而硫一；性横者主爆击，硝七而硫三。”宋应星《天工开物》卷一五“佳兵·火药料”条也援引了其中的主要内容。

这些对火药诸特性的描述，是人们认识上的一次深化和飞跃，是明代火药技术的重要成果。因受时代限制，有些表述虽不是十分科学，但却形象、生动，大体上反映了火药的一些基本特性。它显然是人们长期实践经验的总结，又可进一步指导实践。

二、管形射击火器技术的发展

明代金属管形射击火器种类较多，大体上可区分为炮、枪两大类②，它们各自又可区分为许多小的类型。此期火器的长度加大，管径却向加大和变小两个方向发展，大炮管径加大，重量增加；枪则变细，重量减轻，出现了鸟枪。明代中期之后，金属管形射击火器技术获得了许多进步，其中最为重要的是使用了瞄准器，并由火捻点火发展到火绳点火。明代中期以后，金属管形射击火器便成了军队装备和火器发展的主要品种。

（一）火炮的发展

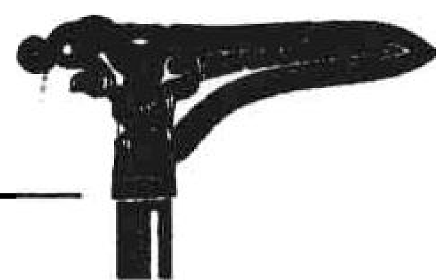
在明代，作为重型管形射击火器的炮主要有两类，一是“碗口铳”，二是大口径的直口炮。前者始见于元代，后者是明洪武时期才出现的。

碗口铳。我国金属管形射击火炮的一种早期制品[10][11]。其始见于元，较早的实物有：内蒙大德碗口铳、房山至顺三年盏口铳[12]、张家口碗口铳等[13]。明代初期，随着火器技术的发展，碗口铳骤增，大家较为熟悉的有：军事博物馆收藏的洪武五年（1372 年）碗口铳[12]、1975 年赤峰所出洪武五年碗口铳[14]、1988 年山

---

① 《武编》“前集”卷五“火”条最后还用诗歌的形式对硝、硫、炭的关系作了简单、明确的归纳：“硫磺本是火之精，焰硝一见便兴兵；硝为君而硫作臣，炭灰佐使最通灵。硝力竖而硫性横，炭灰在内助力真；三家本是各类产，会合君臣万古雄。”

② 铳是元、明时期对金属管形火器的统称。今人对管形火器分类时，通常不将铳作为独立的品种。乾隆三十二年《钦定皇朝通志》卷七八在谈到火器时，管形火器便只谈到了炮和枪两大类型：“大者曰礮，其制或铁或铜，或铁心铜体。”“小者曰鸟枪。”而未再谈及铳（文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 241 碟，该书第二十八册）。但铳与炮、铳与枪混称之事却又是随处可见的。铳的称呼直到 20 世纪 40 年代民间还在使用，主要指那些口径介于枪和炮之间的管形火器，故本书行文中亦经常使用这一名称。





东蓬莱县所出洪武八年碗口炮（2 门）[15]、1664 年山东冠县所出洪武十一年碗口铳[16]、1977 年贵州赫章所出洪武十一年碗口铳[17]，1972 年河北宽城县所出洪武十八年碗口铳等[18]，大体皆属这一类型。重修《明会典》卷一九三“军器军装二·火器”载：“正统十年（1445 年）题准，军器局造椀口铜铳，编胜字号。”且弘治（1488～1505 年）以前定例，军器局每三年须造“椀口铜铳三千筒，手把铜铳三千把”。可知碗口铳在明代使用了相当一个时期。这些碗口铳的基本特点是：（1）筒口皆呈碗口状，炮弹皆放在碗口上，依仗筒内火药的冲击力将其送出。（2）被投射物，即炮弹，是一个体积较大的石块或铁弹、爆炸弹。（3）碗口径多在10～13厘米间；蓬莱的两门洪武八年炮稍大，碗口径达 26 厘米，管径达 11 厘米；赫章的较小，口径只有 7.5 厘米；后者大约是较为机动的随军用炮。

关于碗口铳的使用方法，《兵录》卷一二载“碗口铳”条曾有说明：“碗口铳，用凳为架，上加活盘，以铳嵌入两头，打过一铳，又打一铳，放时以铳口内衔大石弹，照准贼船底膀，平水面打去，以碎其船，最为便利。”可见，这种铳是放在木架上发射的；其口部之所以做成碗口状，是为了便于放置大石弹。

碗口铳的名称也很值得注意，从大量资料看，明人在把它称之为“碗口铳”的同时，也称之为炮。这有多条资料为证。

《武备志》卷一二二载有 3 门称之为“飞摧炸砲”的火器，其形态实际上就是碗口铳（图 8－8－1）。3 门炮中，两门正在发射，一门待发，炮口上见有一个大炮弹；但此炮弹不是石球，而是一个火药包。原附文云：“用大铁砲装火药舂实，用生铁铸小口空腹蒺藜砲，入炸药杵盈口，进小竹筒安药线稍长，放在大砲口上。临用先点小砲药线，次点大砲药线，以大砲而送小砲。”此“大铁砲”指碗口状管形火器；“小口空腹蒺藜砲”、“小砲”指生铁铸成的内装炸药的炮弹。将“蒺藜砲”放在大炮口上，点火后便可将其射出。

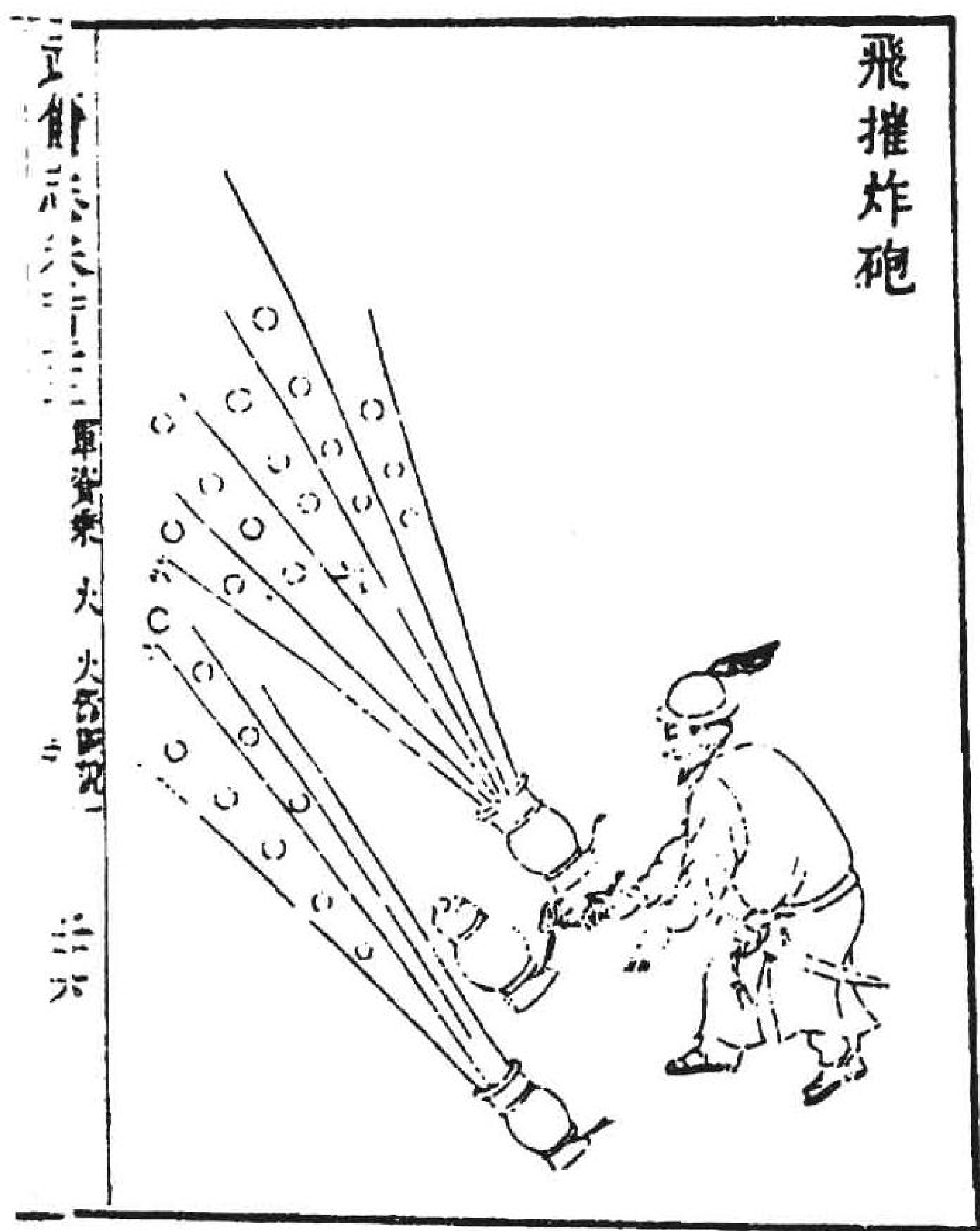



图 8－8－1　明《武备志》所载碗口“飞摧炸砲”图

在考古实物中，山东蓬莱洪武八年铜砲的口部也是碗口状的。此炮计两门，两器上皆有铭文，皆自称为“大砲”。一炮之铭为：“莱州卫莱字七号大砲筒重壹佰贰拾斤洪武八年二月日宝源局造”。另一炮铭为：“莱州卫莱字二十九号大砲筒重一百二十一斤洪武八年二月日宝源局造”[15]。此“砲”字铭文也说明，明人是将碗口状管形火器也称之为“砲”的。

关于铳与炮混称的情况，明丘濬（1420～1495 年）《大学衍义补》（成书于1487 年）卷一二二“严武备·器械之利下”也有一段说明：“近世以火药实铜铁器中，亦谓之礮，又谓之铳。铳字韵书无之，盖俗字也。其以纸为之者，俗谓之

爆，爆者，如以火烧竹而有声，如竹爆然也。今礮之制，用铜或铁为具，如筒状，中实以药而以石子塞其口，旁通一线，用火发之，其石子之所及者，无问人物皆糜烂。"[19]此说"今礮之制"，"以石子塞其口"，显然是一种碗口状火器。其中"礮，又谓之铳"，当指碗口铳言。

直口炮。口径达22~23厘米，这是重型火器，所见数量较少。1965年株洲出土1件铜炮，直口，全长81厘米，外径32厘米、内径22厘米，重348千克，铭文有"正德陆年十月"等字[20]。

明代火炮名目较多，见于《明史》、《明会典》、《武编》、《武备志》等兵书，考古发掘的有："大将军炮"、"二将军炮"、"三将军炮"、"四将军炮"、"五将军炮"、"旋风炮"、"碗口炮"、"神威大炮"、"铜发熕"、"威远炮"、"红夷炮"等名目，约数十种之多。若从性能上分类，则有野战炮、攻城炮、守塞炮、舰船炮等；若从材质上分类，则有铜炮和铁炮两种，其中有本国设计的，也有仿造外国的，明代中期之后则仿造者增多。

直至明、清时期，以抛石机投掷火药包，及至巨石之"砲"仍有使用。如明茅元仪《武备志》卷一二二谈到过一种"宋火砲"，便是以抛石机投掷火药包的装置，其云："宋人用旋风、单稍、虎蹲等砲。所谓火砲者，但以其车放毬、鹞、枪等诸火器耳，此为砲之祖"。也有投掷石块的，如《明史·朱燮元传》载：天启时贵州土司奢崇明叛明，率军围攻成都，造大型吕公车攻城，城中守将朱燮元"乃用巨木为机关，转索发炮，飞钧石击之"。《盾鼻随闻录》卷二载，杨秀清指挥攻打衡州（湖南衡阳），守城清军也"掷出石炮"，砸伤太平军将领韦镇。自然，这类炮的数量在明、清时代都已很少。

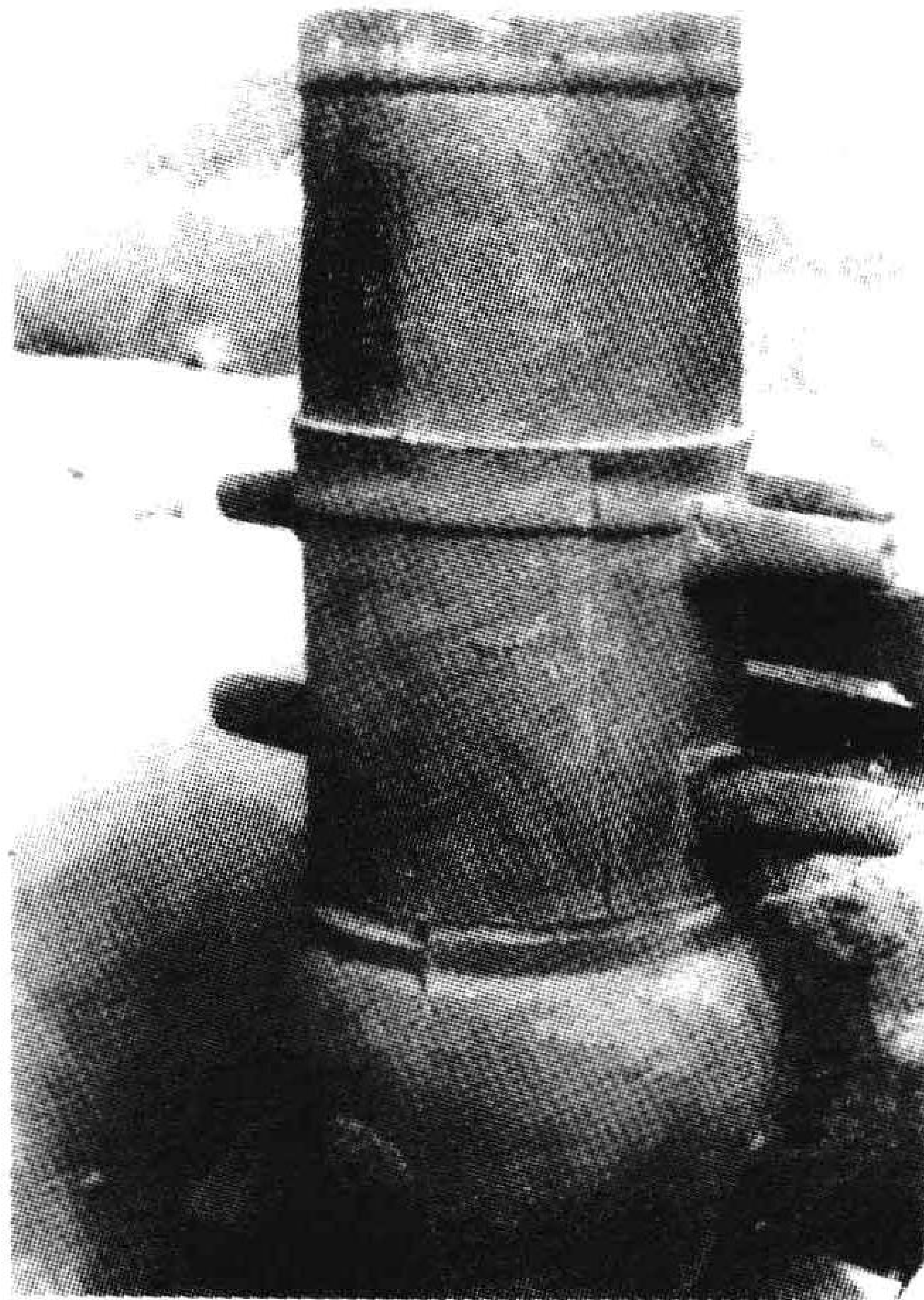
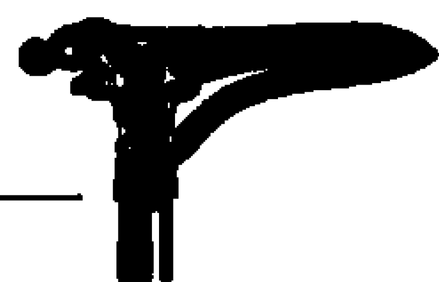


图8-8-2 山西省博物馆藏洪武十年铁炮

我国古代金属管形火器最先使用的主要是铜质炮，之后才是铁质炮。铁炮实物始见于明代初年。大家较熟悉的有：（1）山西省博物馆旧藏洪武十年铁炮，计3门，通长100厘米，口径21厘米，炮口下两箍间铸有三行铭文："大明洪武十年丁巳口口季月吉日平阳卫铸造"（图8-8-2）[21]。（2）1979年时，镇江亦出土过23门明初铁炮[22]。明末所见红夷炮铁炮实物稍多，多处都有出土或收藏。如：（1）20世纪50年代时，石家庄市发现有崇祯十一年红夷大铁炮[23]。（2）上海闸北区发现两门崇祯十六年大铁炮，皆铭之为"红夷灭虏大将军"[24]。山西洪武铁炮的炮身上有两对耳柄构成互相平行的两条直杠，这当是调节炮身俯仰的承载轴，两条直杠断面皆呈四方形，且互相平行，若用一个斜面来垫塞，俯仰起来就会更为平稳。早先将其释成转轴，其实它是不能转的；后又



有学者而认为它是用作扛抬的把手[25]，但这种巨炮并非经常移动之物，把手并无必要；同时，把手通常都是圆的，不宜作成方形。

明代铜炮皆为铸造，铁炮则有铸、锻两种。重修《明会典》卷一九三“军器军装二·火器”在谈到“毒火飞砲”成型工艺和使用方法时说：“用熟铁造，似盏口将军，内装火药十两有余，盏口内盛生铁飞砲一个，内装碗硫毒药五两。药线总缚一处点火，大砲先响，将飞砲打于二百步外，爆碎伤人。”此“熟铁造”即锻造，当时尚未具备“熟铁”铸造的技术条件。

明代火炮结构的进步主要有下列几方面：[11][25][9]

（1）从明代初年起，一般铜铁炮（铳）上都加了一道或多道箍，就提高了炮身强度。

（2）一般都设置了耳轴，这是一种为了便于炮身安置的对称轴，使火炮发射时可俯可仰，提高了其火力的机动性。

（3）早期火炮多为固定式的，后来才成了活动式。《火龙经》卷中所载“子子雷砲”、“七星铳”等，皆有两轮或多轮车，因而可“随高随低，点火对打”。15世纪时创造了比较完整的炮车炮架，发明了可以转动的“滚车”和“台车”，从而使火炮的灵活性大为增加。这种车在多种兵书中都可看到。

（4）明代中期后，兵仗局开始仿制佛郎机炮，设置了照星、照门，便改变了我国火铳没有瞄准装置的状况，从而提高了火炮命中率。

（6）仿佛郎机炮，使用了子铳，又名“提心铳”，便在一定程度上克服了火炮“重而难举，发而莫继”的缺点。张萱《西园闻见录》六九“车战”条载：“今所制提心铳举放即于车上，每铳一门，提心有五，即以五卒分携之。一心才发，一卒即前提之，又入一心，又一卒提之。如此循环至于五心才毕。则头一卒提心制药讫，又来入放；虽继百响，不歇可也。”[26]

（二）手铳的发展

由于火器的威力和统一战争的需要，明廷把火器生产放到了一个相当重要的地位，其在朝廷官府中设有火药制造局，一些地方官府设作坊制造火药。先是宝源局，稍后，军器局、兵仗局，以及许多驻军皆铸手铳。手铳者，小炮也。《明会典》卷一九三“工部十三·火器”载：兵仗局每三年须造大将军、二将军、三将军、夺门将军、神砲、神铳、手把铜铳、手把铁铳等若干。目前许多地方都有明代火铳出土或收藏。明代中、后期，由于轻型火枪和重型火炮的发展，手铳技术才开始削弱。

由大量考古实物看，若碗口铳单算，元代火铳便只有一种，明代火铳则至少有四大类，并且趋向于定型[9]：（1）初期手铳，始见于元，明洪武时有了较大发展。口径多为 2 ~ 2.2 厘米，只有少数超过此数，达 3.3 厘米；长多为 40 ~ 44 厘米。（2）轻便手铳，始见于永乐时期，出土实物较多。口径多为 1.2 ~ 1.7 厘米，全长 34 ~ 36 厘米。年代稍早的有多件永乐七年铳，1978 年辽宁辽阳出土的一件全长 35.2 厘米，内径 1.5 厘米[27]。（3）中型手铳。数量较少，口径 5.2 ~ 5.3 厘米，全长 43 ~ 44 厘米。今见有“永乐拾叁年玖月”铭 3 件等，分别出土于内蒙古克什克腾旗[28]、河北[29]和北京[30]。（4）大型手铳。数量亦较少，口径介于 7 ~ 22 厘

米间，今日所见有永乐七年铳2件等。一件为1983年甘肃张掖县出土，全长55厘米，内径7.3厘米、外径10厘米，重20千克，上有“奇字壹千陆百拾壹号”，“永乐柒年九月日造”铭[31]。另一件出土于嘉峪关，全长55厘米，口径11厘米，重15余千克，壁厚1厘米，上有“奇字壹千玖佰叁拾叁号，永乐柒年玖月日造”字铭[32]。两器铭文基本一致。因这类铳稍大，故今也有学者称之为炮铳、铳炮。除此四类铳外，还有一些其他类型，如两头铜铳、长柄铳等。

由洪武到永乐时期，手铳技术的进步主要是：

（1）增加了火门盖，盖可开合，可保护火药免受风雨侵蚀。

（2）从河北省文物研究所收藏的永乐十三年铜铳来看，在火药与弹丸之间使用了木马子[25]，这是用于充实火药的附件，兼有塞紧和密闭的作用，使弹丸能集中瞬时的爆发力，从而增加了射程和杀伤力。申时行重修《明会典》卷一九三“火器”载，弘治以前定例，军器局三年一造椵木马子三万个，檀木马子九万个。

（3）尺寸较为规范，加工亦更为精细。如1988年时，成东统计过20把由永乐七年（1409年）到正统元年（1436年）的“天字”号铜手铳，时间跨度较大，且出土于不同地方，长皆介于34.5~36厘米间，口径皆介于1.3~1.7厘米间[25]。

（三）金属管形火枪

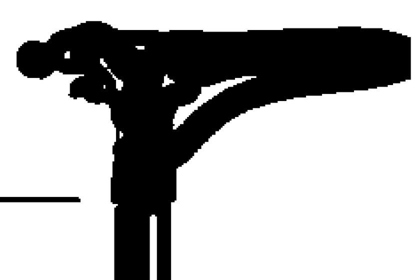
我国古代被称为“火枪”的兵器至少有6种不同类型①：（1）抛石机火枪。这是由抛石机投射的带火矛头，如《武经总要》“前集”卷一二所云。（2）长竹竿火枪。这是一种喷火的长竹竿火器，如陈规所用者。（3）飞火枪。这是一种带有喷火管的长矛。如“赤盏合喜传”所云。（4）烟枪。这是施放烟幕的长竹竿类火器。如《武林旧事》所云。（5）子窠突火枪。这是带有子弹的竹质管形火器。开庆元年曾见于寿春。（6）金属管形火枪。始见于元。值得注意的是：火枪之“火”仅指火药燃烧之火，而火箭之“火”则还包括油剂类易燃物所生之火，这是有差别的。前五种皆出现于宋，今主要讨论第六种。

金属管形射击火枪在明代便有了较大发展，并很快就成了明代兵士重要的轻型武器。明初这类轻型火器种类较多，今主要介绍轻型手铳、交阯神机枪、鸟铳三种。

1. 轻便手铳。这也是明代金属管形发射火器的一个重要类型。其又包括单管式、并联多管式、串联多管式等种。前者的缺点是不能连续发射；而后者则在同一火器上采用不同方式，安上了多个铳管，便在较大程度上弥补了这一缺点。常见有3管、4管、5管，以及7管、10管不等，最多达36管。

并联多管式，即是一个火铳使用了多个铳管，这些铳管相互平行地固定连在

① 今世学者对“火枪”曾有多种不同的界定法：（1）界定为长竹竿火枪、飞火枪和突火枪，并将梨花枪、喷筒归于其下，而不包括手铳和鸟枪等金属管形火器（见《中国军事百科全书》“古代兵器分册”，军事科学出版社，1991年）。（2）界定为元、明长竹管火枪，亦不包括金属管形的手铳和鸟枪。（3）有学者在讨论古代火枪时，只谈作为金属管形射击火器的火枪，并将这种金属管形火枪分为两大类：一是没有瞄准器的火枪，包括单管枪（如明初的神铳、手把铜铳等）、多管枪（如三眼铳、五眼铳、子母百弹铳等）、分段发射的枪（十眼铳等）；二是有瞄准器的火枪，包括单管枪、多管枪、鸟枪；而鸟枪又包括鸟嘴铳、自生火铳等（《中国军事史》第一卷“兵器”，解放军出版社，1983年）。笔者则将时间范围放得更宽一些。



一起，且铳口对齐，但共用一个尾銎和手柄。1987年，辽阳出土两支形制相同的铁三眼铳[27]，铳身由三支铳管绕铳柄固连而成，三个铳口成品字形分布，每管都有凸起的外缘，前膛有箍，之后有药室和火门，三管合用一个喇叭形尾銎。其中一件全长40.5厘米、单铳口径1.3厘米。1991年河北赤城出土两支铁五眼铳[29]，单管通长46厘米，铳管和銎部各长23厘米，内口径1.5厘米，重5.5千克，5支枪管分上下两层排列。重修《明会典》卷一九三"火器"载，嘉靖二十五年军器局制造的"四眼铁枪"大体上亦属这一类型，皆无瞄准器，可连续发射，放完一筒再放一筒。

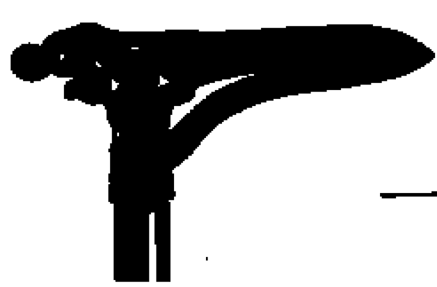
串联多管式，即一门火铳具有串连在一起的多个铳管。《武备志》卷一二五载有"十眼铳"的文字和图案，其火铳管用铜铸造，或精铁打造，长5尺，中间一尺为实心，两端各2尺为铳筒；每端5节管筒，每节长4寸，内装火药和弹丸，并开有火门。节与节之间用纸隔开。作战时，射手先点着最外一节，之后依次点燃其余4节，点完一端再点另一端。连续发射。重修《明会典》卷一九三"火器"载，嘉靖二十五年军器局又造"十眼铜铳"若干，当属于同一类型。

2. 神机火枪。可能是永乐时由安南传入的。丘濬《大学衍义补》卷一二二载："近有神机火枪者，用铁为矢镞，以火发之，可至百步之外；捷妙如神，声闻而矢即至矣。永乐中平南交，交人所制者尤巧，命内臣如其法监造。在内命大将总神机营，在边命内官监神机枪。"此当为单管火枪，枪筒中放入火药和箭镞，点火发之。因历代营造常以五尺为步，据故宫博物院所藏嘉靖牙尺，明一尺合今0.32米[33]，那么，此"百步"则相当于今160米。这距离是不短了。它的优点是以火药发射箭镞，相当于后世的子弹，杀伤力较强。缺点是要临时装药，不能连续发射，故丘濬说此"火枪手必五人为伍"，轮流装药，轮流发射。

3. 鸟铳。为明代中期之后仿西洋火绳枪制成，它使明代管形单兵射击火器技术有了较大的提高。

明代的火炮有铜、铁两种材质，故其成型工艺有铸、锻两种。枪则多为铁质，以打造者居多。《天工开物》卷一五"佳兵·火器"条在谈到鸟铳，亦鸟枪的制作和使用法时说："凡鸟铳，长约三尺，铁管载药，嵌盛木棍之中，以便手握。凡锤鸟铳，先以铁挺一条大如箸者为冷骨，果[裹]红铁锤成。先为三接，接口炽红，竭力撞合，合后以四棱钢锥如箸大者，透转其中，使极光净，则发药无阻滞，其本近身处，管亦大于末，所以容受火药。每铳约载配消一钱二分、铅铁弹子二钱。发药不用信引（岭南制度，有用引者），孔口通内处露消分厘，捶熟苎麻点火"。"若百步则铳力竭矣，鸟枪行远过二百步，制方仿佛（彷彿）鸟铳，而身长药多。"可见鸟铳和鸟枪锻造，都是以冷铁为骨，分段锻制并焊合的。鸟枪行远过二百步，主要是其身长药多之故。

明代火枪主要指金属管形火器，但与宋、金飞火枪相类同的兵器仍在使用。这有两个例子，一是前云明《筹海图编》卷一三所云"梨花枪"；二是《火龙经》卷中所载"飞天毒龙神火枪"，其"枪身长一尺五寸，或用铜铸或铁打，中空，藏铅弹一枚……两旁缚毒火二筒，与贼对敌，远则发铅弹击之，近则发毒火烧之，战则与枪锋刺之，一器而三用"。这两种火枪都兼具了冷热兵器的功能。但宋、元





飞火枪多为喷火式或使用散弹，此则使用了可以远射的铅弹，且一支枪柄上绑了两个“毒火筒”。

**三、佛郎机炮、鸟铳和红夷炮的传入**

14世纪初，中国的火药火器技术经阿拉伯传入欧洲；15世纪时，欧洲制造出了在结构和性能上都优于当时明代火铳的火绳枪炮；16世纪时，西班牙、葡萄牙的航海冒险家将之变成了掠夺拉丁美洲和东方国家的重要手段。在与西方掠夺者的交往中，这些火器技术便以更高的姿态传回了中国，其中名声最大的便是佛郎机炮①、鸟铳和红夷炮。获得这些火器后，明廷很快便进行了研究和仿制，赵士桢、徐光启等人都作出了较大的贡献。

（一）佛郎机炮的传入

关于佛郎机传入我国的具体时间，明、清时期便存在一些不同说法，如明赵士桢《神器谱》“原铳”说是明成祖“征交趾所得”，《明史》卷三二五“佛郎机传”说是嘉靖二年（1523年）。从现有研究情况看，中国官方首次得到它的时间当是明正德十二年（1517年），据刑部尚书顾应祥云，这是他任广东佥事时亲眼所见。首次仿制佛郎机的时间则可能为嘉靖三年[35]。

明嘉靖间成书的《筹海图编》卷一三载：“刑部尚书顾应祥云：佛郎机，国名也，非铳名也。正德丁丑（十二年，1517年）予任广东佥事，署海道事，蓦有大船二只，直至广城怀远驿，称系佛郎机国进贡……其人在广久，好读佛书，其铳以铁为之，长五六尺，巨腹长颈，腹有长孔，以小铳五个轮流贮药，安入腹中放之；铳外又以木包铁箍，以防决裂。海船舷下，每边置四五个于船舱内，暗放之，他船相近，经其一弹，则船板打碎，水进船漏，以此横行海上，他国无敌。时因征海寇，通事献铳一个，并火药方。此器曾于教场中试之，止可百步……后汪诚斋鋐为兵部尚书，请于上，铸造千余，发与三边。”[34]可见：据顾应祥云，正德十二年时，通事已将佛郎机炮及其火药配方献给了他，并且还在教练场试放过。这是中国官方最早获得佛郎机的时间[35]。

佛郎机炮在结构上主要有如下几个特点：

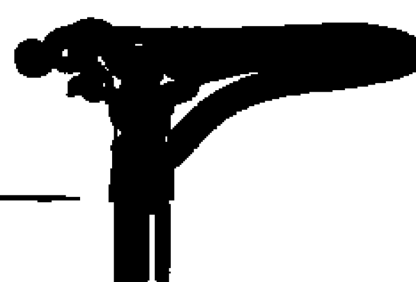
（1）较长较大。其“长五六尺，巨腹长颈”[34]。据故宫博物院所藏嘉靖牙尺[33]，其长相当于今1.6～1.9米。“巨腹”用来装填子铳，“长颈”可形成一个较好的弹道，都有利于远射、准射。明代前期火铳则远不及此。

（2）采用了母铳衔扣子铳的结构，母铳后膛开一敞口（即巨腹），以纳子铳。一门母铳配有5～9个子铳，子铳可事先装好弹药，“以小铳五个轮流贮药，安入腹中放之”[34]。这就缩短了由于现场装药而造成的射击时间间隔，便于连续发射，增强了杀伤力。

这两点，前引顾应祥话都已谈到[34]。

（3）由于子母铳设计、加工较好，各部衔接严密，故较好地解决了密闭性问题。戚继光云：“其妙处在母铳管得法，子铳在腹中，亦要两口得法，使火气不

① “佛郎机”系西名 Ferangi 的音译，原是明人对葡萄牙、西班牙等国的称呼，后又用它称呼葡萄牙传入的火炮。



泄。”从而提高了射程和杀伤力。“凡铸铳之法，子铳口大则子难出，要破母铳；母铳口大而子铳口小，则出子无力且歪；务要子母二铳之口圆径分毫不差乃为精器。”[34]

（4）安装有照门、准星等瞄准装置，从而提高了命中率。《筹海图编》引戚继光云：“其妙处在前后二照星。”“托面以目昭对其准，在放铳之人用一目眇看后照星孔中对前照星，前照星孔中对所打之物。若子马俱大，则难出，出则力大要座，后面人力不能架之。若子小则出口松而无力，歪斜难准。法既省下木马烦难之功，又出口最易。”[34]

（5）佛郎机安有炮耳。故“其机活动，可以低可以昂，可以左可以右，乃城上所用者，守营门之器也”[34]。从而扩大了视野和打击范围。顾应祥认为，“可低可昂，可左可右者，中国原有此制，不出于佛郎机”[34]。

佛郎机炮的前4个特点，对中国火器技术产生了很大的影响，人们一方面积极仿制佛郎机，同时也对佛郎机和中国炮作了一些改革。《续文献通考》卷一三四载：“世宗嘉靖三年四月，造佛郎机铳于南京。”并详细地谈到了仿造的原委。“八年十二月，诏铸佛郎机三百分发各边”[36]。明谈迁《国榷》卷五三也有类似的记载[37]。仿制的佛郎机名目繁多，不但有大中小之别，同时还有马上佛郎机、连珠佛郎机、万胜佛郎机，以及黄铜佛郎机等。其中需要一提的是一种名为“发熕”的炮（或写作“发贡”、“发钎”）。《筹海图编》云：“（佛郎机之）制出于西洋番国，嘉靖之初年始得而传之。中国之人更运巧思而变化之，扩而大之，以为发钎。发钎者，乃大佛郎机也。约而精之以为铅锡铳，铅锡铳者，乃小佛郎机也。其制虽若不同，实由此以生。”[34]“熕”或“钎”，疑是西文gun的音译。可知“发熕”实是一种大佛郎机，“铅锡铳”则是小佛郎机。考古发掘中，佛郎机炮(铳)亦不乏见，前云1978年辽阳所出铜火器中，便有2门，皆“胜字”号，皆“嘉靖辛丑年兵仗局造”[27]。

（二）火绳枪的传入

关于这种火绳枪的来源，自明代起便存在多种不同说法，其中又以“倭寇说”、“西番说”较为流行。戚继光《练兵实纪杂集》卷五“鸟铳解”条载：“此器中国原无，传之倭寇，始得之。”[38]《筹海图编》卷一三“鸟嘴铳”条载：“鸟铳之制(原作製)，自西番流入中国，其来远矣，然造者未尽其妙。嘉靖二十七年(1548年)，都御史朱纨遣都指挥卢镗破双屿，获番酋善铳者，命义士马宪制器，李槐制药，因得其传而造作，比西番犹为精绝云。”我们比较倾向于西番说，现代技术多首盛于西方。依此，鸟枪亦于嘉靖间传入，但较佛郎机稍后，试制当是嘉靖二十七年的事。在此，“鸟铳”与“鸟枪”两个名称似乎是混合使用的，说明当时对这二者尚未严格区分。

1978年，辽阳城南兰家堡子村出土一批火器，其中有鸟铳管3支，一长二短；长管鸟铳口径1.4厘米，长87厘米。有望山和准星，尾部右侧为半圆形药室，上有火门[27]。木质铳床和手柄皆已朽烂，若手柄为7寸，铳床较铳管短2寸的话，全铳长便达110厘米左右。身长为口径之62倍。

《筹海图编》卷一三“鸟嘴铳”条引唐顺之说：“佛郎机、子母砲、快铳、鸟

嘴铳皆出嘉靖间，鸟嘴铳最后出，而最猛利，以铜铁为管，木槖承之，中贮铅弹，所击人马洞穿。其点放之法一如弩牙发机，两手握管，手不动而药线已燃。”这种“铳”名冠之以“鸟嘴”，大约是其“木槖”状似鸟嘴之故。因其以药线点火，俗又谓之火绳枪、鸟枪、鸟铳。

从上述考古实物，及戚继光《练兵实纪杂集》等记载[38]来看，火绳枪的特点是：

（1）枪筒较为细长，其筒长与口径之比常达60倍左右。与前述佛郎机同样，这有利于火药在膛内充分燃烧，并产生较大的推动力。“夫透重铠之利在腹长”。

（2）与佛郎机同样，也安有准星、照门等瞄准装置。“目照之法：铳上后有一星，口上有一星，以目对后星，以后星对前星，以前星对所击之物，故十发有八九中”。

（3）安有火绳点火的发射装置，“其点放之法，一如弩牙发机”。发射时，先点着枪机夹着的药线，之后扣动扳机，火星落入药室，点着火药。因药线燃烧缓慢，可连续使用，故可连续发射。

（4）安装了鸟嘴形枪托，“有木为托，即有腹炸不能伤手”。发射时，脸部一侧可靠近枪托，“一手拏在腹前”，“后手不用弃把，点火则不摇动。后手执定，一目照直，以指勾轨，则火自然”[38]。从而保证了发射的稳定性和准确性。

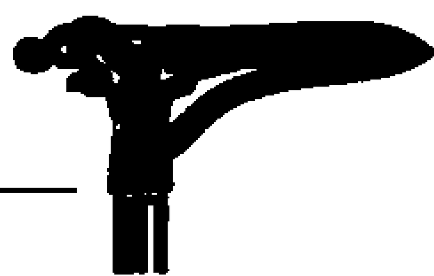
（5）火药配制较好，使用了铅子弹。正如戚继光云，“铅子之利在于合药之方。其神机铳用木马，繁而多，误势难再发”[34]。

任何一项先进技术，不管是传统的，还是西洋的，也不管是火枪还是火炮，人们都会依据不同需要加以继承和改造，并使用到现实生产中的，明代炮、枪技术的发展便是一个较好的例证。重修《明会典》卷一九三“工部·火器”载：嘉靖三十七年，兵仗局制鸟嘴铳10000把。可见仿造数量之大。清牛应之《雨窗消意录》卷三载有明人创造性地进行了仿造，并使用了击石引火的技术：“前明万历时，浙江戴某（戴梓?）有巧思，好与西洋人争胜，尝造一鸟铳，形若琵琶，凡火药铅丸，皆贮于铳脊，以机轮开闭。其机有二相衔，如牝牡，扳一机则火药铅丸自落筒中，第二机随之并动，石激火出而铳发矣。计二十八发，火药铅丸乃尽。拟献于军营，夜梦神诃曰：‘上帝好生，如使此器流布，人间无噍类矣。’乃惧而止。后官钦天监，以忤南怀仁坐徒”[39]。

（三）红夷炮的传入

佛郎机炮虽有诸般优点，但口径稍小，使杀伤力受到影响。明万历后期，一种更大型的西洋大炮，国人谓之红夷炮者传入。《明史·兵志·火器》载：“大西洋船至，复得巨礮，曰红夷。长二丈余，重者至三千斤，能洞裂石城，震数十里。天启中锡以大将军号遣官祀之。崇祯时，大学士徐光启请令西洋人制造。”

红夷炮的尺寸较为讲究。据《火攻挈要》（成书于1642年）所云：其厚薄尺量之制，“必依一定真传，比照度数，推例其法；不以尺寸为则，只以铳口空径为则。”即火炮各部尺寸都是以炮口为基数推算出来的。其主要特点是：（1）炮身较长。要使炮射程远、打击准、破坏力强，炮的长度宜为口径的20倍或稍多。（2）管壁较厚。（3）前细后粗。药室火孔处的壁厚约等于口径，炮口处的壁厚约



等于口径的一半。（4）炮身上铸有炮耳、准星、照门，用铳规等测量射击角度。1993 年时，成东统计过 16 门红夷炮的尺寸，其长径比（身长与口径之比）皆超过 20 倍[40]。中国国家博物馆所藏天启二年（1622 年）红夷炮，身长 3 米，口径才 12.5 厘米，上有“天启二年”、“红夷铁铳”等铭[41]。山西省博物馆藏崇祯十一年红夷炮 2 门，皆长 190 厘米，口径 8 厘米，其上皆有“崇祯戊寅岁”、“捐助建造红夷大砲”等铭[21]。前面提到，石家庄出有崇祯十一年红夷大铁炮一门，铭文与山西省博物馆所藏相同[23]；上海藏有崇祯十六年红夷大铁炮一门[24]。

**四、火箭技术的发展**

我国古代“火箭”约有三重含义：一是以弓弩发射而带火的箭镞，此“火”为油脂类易燃物所生，可称为“油脂火箭”，主要使用于先秦至唐五代；二依然是以弓弩发射箭镞，但此“火”系缚附的火药所生，可谓之“火药火箭”，约发明于北宋初年，明代还在使用；三是以火药燃烧产生的反冲力来推进的箭镞，可谓“喷气式火箭”，其发明年代目前尚有不同说法，但可肯定的是，在明代后期，便与鸟枪一起成了军队的主要轻型武器。

明代火箭约有两种类型，即单级式和二级式，前者又有单发式和多发式（集束式）两种。多发式和多级式火箭的出现，是明代火箭技术的主要成就。

（一）单级单发式火箭

这是喷气式火箭的早期形态。基本操作是在箭竿上绑一个火药筒，点着后，利用火药燃气的反作用力将箭镞射向敌方。依箭镞形态，《武备志》卷一二六“火器图说·箭”条列有飞刀箭、飞枪箭、飞剑箭、燕尾箭、神机箭。

（二）单级多发式火箭

将许多支火箭用一条总的药线联结成束，一齐发射。《武备志》卷一二七载有 9 种集束式火箭，即五虎出穴箭（5 支集束）、七箭箭（7 支）、九龙箭（9 支）、长蛇破敌箭（30 支）、一窝蜂箭（32 支）、群豹横奔箭（40 支）、四十九矢飞帘箭（49 支）、群鹰逐兔箭（两头计 60 支）、百虎齐奔箭（100 支）等，其中较为著名的大约是一窝蜂箭等。重修《明会典》卷一九三“火器”在谈到兵仗局定例时，谈到的箭只有三种，即“一窝蜂箭”、“神机箭”、“铳箭”。神机箭即是单支箭。据《武备志》卷一二七载，群豹横奔箭可射四百余步，一窝蜂箭可射三百余步。依前法计算，此二者的射程便相当于今 640 米、480 米左右。《明史》卷九二“兵志”谈到了一个使用九龙箭的战例：“天顺八年(1464 年)，延绥参将房能言，麓川(今云南腾冲县)破贼，用九龙筒，一线然，则九箭齐发。请颁式各边。”《武备志》卷一二七详细地记述了四十九矢飞帘箭的制作方法：“编竹为笼，中空圆眼，约长四尺，外糊纸帛，内装四十九矢。以薄铁为镞，卷纸为筒，长二寸许。前装烧火(用砒霜、巴豆合)，后装催火(发药也)缚于镞上，顺风放去，势如飞蝗，中贼则腐烂，挂蓬则焚烧……破之必矣。前装烂火药、神火药各对分，后装催火发药；务首尾轻重相等，则去远。或箭蘸虎药，中贼则见血封喉，亦水战之利器也。”可知这是用集束火箭运输的炸弹，它具有纵火、放毒、直接杀伤等功能。

（三）二级式火箭

此火箭初始形态即宋代的二踢脚爆仗，二级火箭当是明代兴起的。今见于

《武备志》等兵书的二级火箭主要有两种，即“火龙出水”和“飞空砂筒”。

火龙出水。这是单向飞行的二级火箭。《武备志》卷一三三“军资乘·水具”详细地谈到了“火龙出水”的制作法：“用猫竹（茅竹）五尺，去节，铁刀刮薄；前用木雕成龙头，后雕龙尾，口宜向上。其龙腹内装神机火箭数枚，龙头上留眼一个，将火箭上药线俱总一处。龙头下，两边用斤半重火箭筒二个，其筒大门宜下垂，底宜上向。将麻、皮、鱼胶缚定，龙腹内火箭药线由龙头引出，分开两处，用油纸固好装钉，通连于火箭筒底上。龙尾下两边亦用火箭筒二个，一样装缚。其四筒药线总会一处捻绳，水战可离水三四尺燃火，即飞水面二三里去远，如火龙出于江面。筒药将完，腹内火箭飞出，人船俱焚，水陆并用。”（图8－8－3）可知其第一级是龙头、龙尾下部4支火箭，将其总药线点燃后，整个火龙会迅速飞向敌方；第二级是藏于龙腹内的数枚火箭。当一级装置的火药将尽时，连接火捻便将二级装置之药引燃，腹内火箭便飞出龙口，射向目标。




图8－8－3 《武备志》所载二级火箭“火龙出水”图

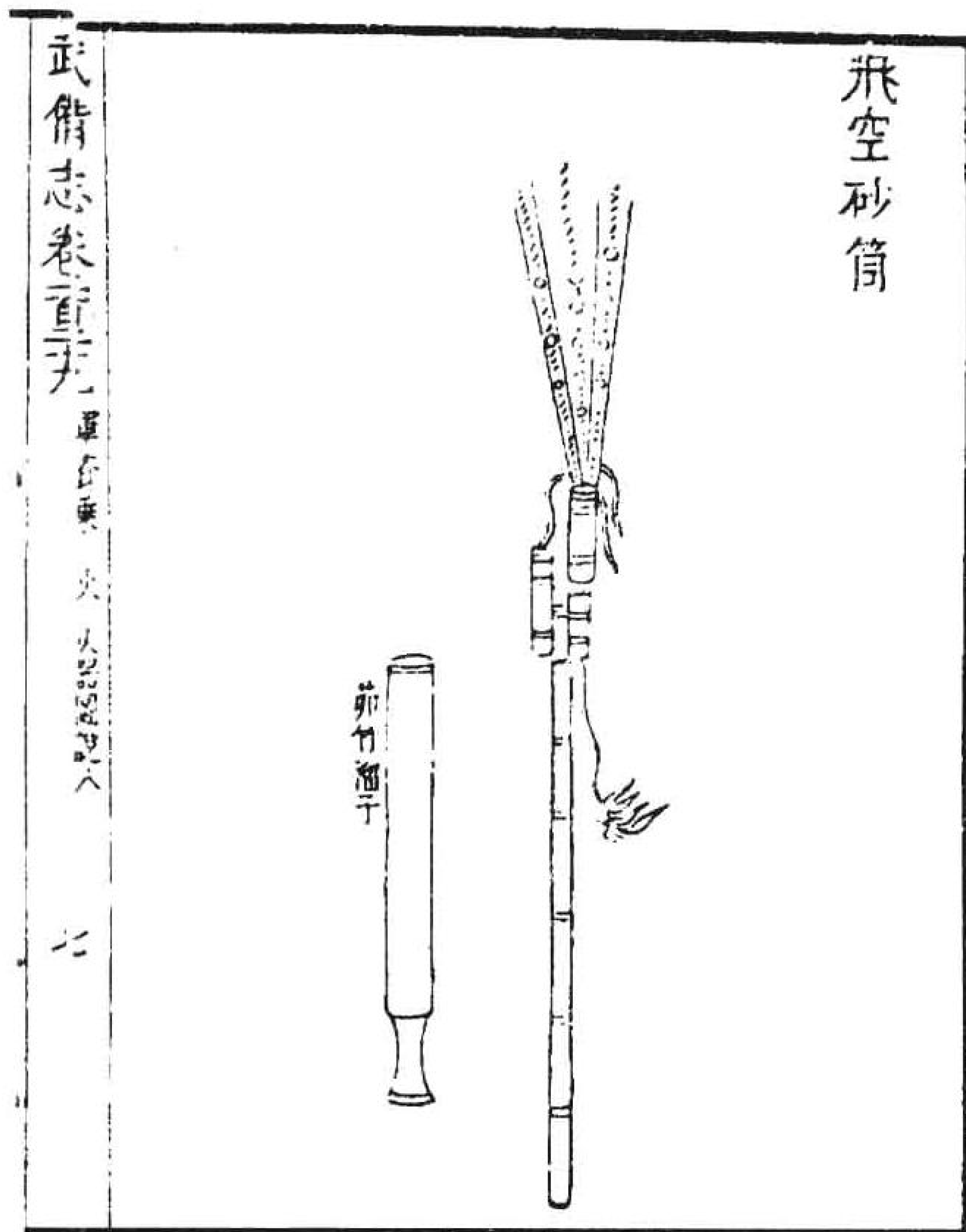
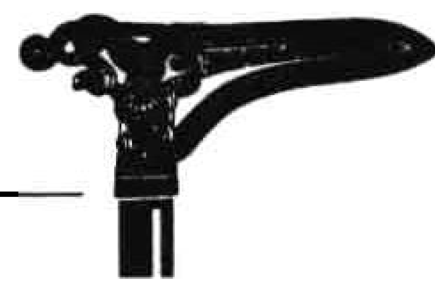



图8－8－4 《武备志》所载二级火箭“飞空砂筒”图

飞空砂筒。这是返回式二级火箭。《武备志》卷一二九载：“飞空砂，制度不一，用河内流出细砂，如无，将石捣为末，以细绢罗罗去面灰，次用粗罗落砂。每斗用药一升，炒过听用。铳用薄竹片为身，外起火二筒，交口颠倒缚之；连身共长七尺，径一寸五分，鳔、麻缠绑一处。前筒口向后，后筒口向前，为来去之法。前用爆竹一个，长七寸，径七分，置前筒头上。药透于起火筒内，外用夹纸三五层作圈，连起火粘为一处。爆竹外圈装前制过砂，封糊严密。顶上用薄倒须鎗，如在陆地，不用。放时先点前起火，用大茅竹作溜子，照敌放去，刺彼篷上，彼必齐救。信至爆烈，砂落伤目无救。向后起火发动，退回本营，敌人莫识。”（图8－8－4）可知其基本装置是两个“起火”和一个爆仗。两个“起火”皆内盛发射药；“起火甲”的喷火口向后，“起火乙”的喷火口向前，二者的方向正好相反。爆仗内含炸药和细砂。将此三者绑在一起，并用药线相连。点燃“起火甲”





后，火箭就飞向敌方；到达目标后，火捻又点燃爆仗，令其爆炸并喷出毒砂，伤敌眼目；之后，火捻又会引燃“起火乙”，整个装置又返回发射者一方。这是一种回收式、往复式火箭。前此的《武编》“前集”卷五“飞空神砂火”所记略同。

（四）单级有翼式火箭

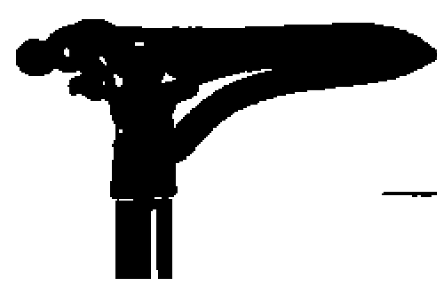
其装备形式主要是神火飞鸦等。《武备志》卷一三一“火器图说一·神火飞鸦”条载，其制法是：“用细竹篾为篓，细芦亦可，身如斤余鸡大，宜长不宜圆。外用绵（棉）纸封固，内用明火炸药装满，又将棉纸封好。前后装头尾，又将裱纸裁成两翅，钉牢两旁，似鸦飞样。身下用大起火四枝（支）斜钉，每翅下二枝（支），鸦背上钻眼一个，放进药线四根，长尺许，分开钉连四起火底内；起火药线头上另装拼总一处，临用先燃起火，飞远百余丈。将坠地，方着鸦身，火光遍野。对敌用之，在陆烧营，在水烧船，战无不胜矣”。（图 8－8－5）






图 8－8－5　《武备志》所载“神火飞鸦”图　　　　图 8－8－6　万虎和他的喷气式飞椅

在讨论喷气式火箭时，万虎和他的飞椅也是需要一提的。1945 年，美国火箭专家赫伯特（Herbert S. Zim）在所著《火箭与喷气发动机》（Rockets and Jets）一书中记载了这样一件事，即 14 世纪末的一位名叫万虎的中国人，坐在椅子上，利用大型火箭进行了一次飞行试验。其原意是这样的：“必须提一下万虎的事迹。如果记载正确的话，这位快要活到 15 世纪的中国绅士和学者，是一位试验火箭的官员。让我们把万虎评价为试图利用火箭作为交通工具的第一个人。他先是制得两个大风筝，并排安放；并将一把椅子固定在风筝之间的构架上。他在构架上绑上 47 支他能买到的最大的火箭。当一切就绪后，万虎坐在椅子上，并命令仆人们手持火把。这些助手们按口令用火把点燃所有 47 支火箭。随即发出轰鸣，并喷出一股火焰。试验家万虎却在这阵火焰和烟雾中消失了。这种首次进行火箭飞行的尝试没有成功。”原书并附有插图（图 8－8－6）[42][43]。可知赫伯特认为，万虎是试图利用火箭作为交通工具的第一人。苏联火箭学家费奥多西耶夫和西亚列夫认为：“中国人不仅是火箭的发明者，而且也是首先企图利用固体燃料火箭将人载到空中去的幻想者。”这些评价都不低。古人的创造精神自是无可争议，只可惜在浩如烟海的中国文献中却了无踪迹。





**五、早期自动爆炸装置**

明代后期的爆炸性火器有了较大发展，在火药配制和点火方式等方面都有了较大的提高。其点火方式除火绳点火外还有拉发、触发、定时爆炸、钢轮发火等，其外壳有石、木、铁、陶瓷等，制作出了类同于近代定时炸弹、地雷、水雷一类装置，且运用到了军事上，使火药的爆炸性能得到了更好的体现和发挥。

定时爆炸弹。系明嘉靖年间(1522～1566年)总督三边侍郎曾铣创制，时当1549年稍前。《御定渊鉴类函》卷二一三“火攻·制地雷”引《兵略纂闻》说：“曾铣在边，置慢砲法，砲圆如斗，中藏机巧，火线至一二时才发。外以五采饰之。敌拾得者，骇为异物，聚地传玩者墙拥。须臾药发，死伤甚众。”[44]此“圆如斗，中藏机巧，火线至一二时才发”的“慢砲”，显然是一种定时爆炸弹。

地雷。同书引文接着又说：“(曾铣)又制地雷，穴地丈许，柜药于中，以石满覆，更覆以砂，令与地平，伏火于下，可以经数月。系其发机于地面。过者蹴机，则火坠药发，石飞坠杀人。故惊以为神。”[44]这显然是一种触发式自动地雷。可知16世纪前期我国便有了“地雷”的装置和名称。在曾铣之后，又有多种地雷问世，仅《武备志》卷一三四“火器图说·地伏”条所载各色地雷便有10多种，以铁、石、陶瓷等为壳，有触发式、绊发式、拉发式等。如其中有一种名为“炸砲”的地雷，系生铁铸成的踏发式地雷，埋雷时，将十余个炸炮连接到钢轮发火装置的“火槽”上，敌人踏动钢轮机，便发火爆炸。

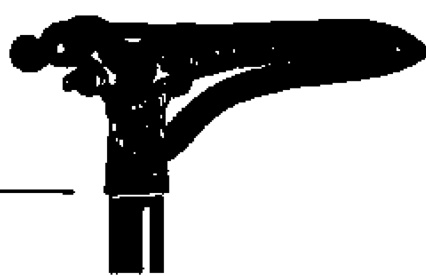
水雷。主要品种有水底雷、混江龙、水底龙王炮等。《武编》“前集”卷五“火器”谈到过水底雷：“水底雷以大将军为之，埋于各港口，遇贼船相近，则动其机，铳发于水底，使贼莫测，舟楫破而贼无所逃矣。用大木作箱，油灰粘缝，内宿火，上用绳绊，下用三铁锚坠之。”可见此水底雷是密封于木箱中，沉于水底，借机械式击发点火而发射的火铳。明宋应星《天工开物》卷一五“佳兵·火器”谈到过混江龙，能自动地用火石火镰发火。其云：“混江龙，漆固皮囊果(裹)砲沉于水底，岸上带索引机，囊中悬吊火石、火镰，索机一动，其中自发。敌舟行过，遇之则败。”水底龙王炮类同定时炸弹，接触敌船时，信香药烬而燃，自动爆炸，不再引述。

## 第九节　髹漆技术的大发展

明代是我国古代髹漆技术集大成的阶段，古代发明出来，且经受了历史洗礼的许多优秀工艺，此期都被人们吸收和利用起来，往往还集多种工艺于一器，使髹漆技术的长处在同一器物上得到了最为集中的发挥和体现。雕漆技术、镶嵌技术都发展到了更高水平，创造了汇聚诸多宝色的“斒斓”工艺。在髹漆技术普遍发展的基础上，新安名匠黄成还编撰了一部名为《髹饰录》的专著，对明及其稍前的髹漆技术作了全面总结。这是我国古代保存下来的唯一髹漆技术专著。

**一、髹漆技术发展的一般情况**

明廷对髹漆技术较为重视，洪武初年便在南京东部设立了漆园、桐园、棕园，当时的目的主要是为了军备。近人王焕镳《首都志》卷三载：南京钟山，“山之阳



有漆园、桐园、棕园，皆明代种植处”。同书并引顾祖禹《读史方舆纪要》云：“洪武初，以造海运及防倭战船，油漆棕缆，用繁费重，乃立三园，植棕、漆、桐树各千万株，以备用，而省民供焉。今废。”[1]

永乐时，明政府还在北京果园设立了皇家漆器厂，生产了许多高档漆器。明高濂《遵生八笺》卷一四“论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”载：“我朝永乐年果园厂制漆，朱三十六遍为足，时用锡胎、木胎，雕以细锦者多。”[2]此“细锦”当指地纹言。据考[3]，果园厂的具体位置[4]，即今西什库东，北京医学院一带。果园厂有两位较为著名的匠师，即张德刚、包亮。康熙二十四年《嘉兴府志》载：“张德刚，父成与同里杨茂俱善髹漆剔红器，永乐中，日本、琉球购得以献于朝，成祖闻而召之，时二人已殁。德刚能继父业，遂召至京面试，称旨，即授营缮所副，复其家。时有包亮，亦与德刚争巧，宣德时亦召为营缮所副。”营缮所属工部，洪武二十五年置。《明史》卷七三“职官志”载：“改将作司为营缮所，秩正七品，设所正、所副、所丞各二人，以诸匠之精艺者为之。”

今见明代漆器较多，这在考古发掘，以及故宫博物院、各地博物馆都可看到，民间亦有收藏，皆不乏精美之品。其中既有官器，也有民器。下面仅介绍一下朱檀墓中的漆器和部分馆藏品。

（一）朱檀墓漆器

1970～1971年，山东邹县明鲁荒王朱檀墓出土了大批珍贵文物，品种有冠冕袍服、丝棉织品、玉带玉佩、琴棋书画，以及漆木器等。漆器计约9件，包括戗金漆器5件、剔黄笔管1件、沥粉贴金盝顶匣1件等。朱檀为朱元璋第十子，死于明洪武二十二年（1389年）[5]。

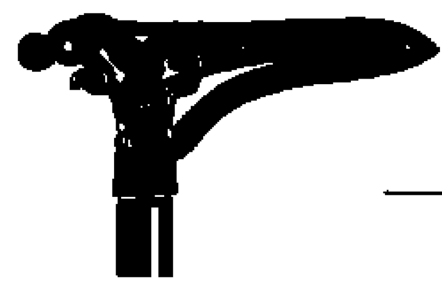
戗金盝顶漆箱，1件，高61.5厘米、宽58.5厘米，木胎厚1厘米。经合缝、捎当、布漆、垸漆、糙漆、朱髹、墨样、戗划、施金、磨光等工序加工而成。箱外朱漆，四壁及顶上饰团花戗金云龙纹，边饰忍冬纹。其布、垸、糙漆层皆不厚，朱髹更薄。用勾刀在干湿合度的朱色漆层上刻出阴线云龙纹，先“打金胶”，后填泥金，磨光即成[5][6]。

戗金夹纻墩式罐，2件。通高、腹径皆10.5厘米，口沿9.5厘米，夹纻胎，内外皆髹黑漆，器表戗金。由残破口处观察，“夹纻”系两层麻布。垸、糙漆层皆薄，黑漆地上戗有回文和山字纹，后者与战国铜镜上的山字纹颇为相似。金色物质较薄，且有若干脱落[6]。

戗金漆盒，2件，长36厘米、宽11厘米、高7.2厘米，木胎朱漆，花纹制作与戗金盝顶漆箱相同[5]。

剔黄笔管，1件，笔杆长21厘米、直径1.4厘米；笔帽长9.7厘米、直径1.6厘米，笔杆和笔帽皆通体髹黄，雕刻卷云纹图案。笔杆两端上饰有回文泥金环带，兼备了剔黄与泥金两种工艺。漆层厚约1毫米。髹黄漆仅20～30道，远不及永乐剔红。剔黄是雕漆的一种，系漆内调入了石黄所致。剔黄可区分为“通黄”和“红地”两种；此笔管并无红地，属于通黄。这是迄今所见年代最早、做工较精的剔黄器[6]。

沥粉贴金盝顶匣，1件，长、宽、高各为22.8厘米、22.8厘米、27.4厘米，





匣内盛装“鲁王之宝”木印。制作工艺是：先在木胎上做出极薄的浅黄色“糙漆”地，再过云龙墨样，后用“沥粉”法沿稿样做隐起浑圆线条，晾干后便打金胶贴金。沥粉又名立粉，髹漆工艺使用沥粉之事始见于浙江瑞安慧光塔北宋庆历二年（1042 年）舍利函[6]，但所用不是太多。

夹纻朱漆帽，1 件，似以两层粗绢为骨，上垸漆、糙漆后再髹朱漆[6]。

黑漆冕，1 件，以藤编成，髹黑漆，表敷一层黑罗绢[5]。

这批漆器虽系明器，偷工减料现象较为明显，但依然表现了相当高的技艺；其朱漆平滑匀称，戗金极为熟练，皆显得富丽堂皇，光彩夺目。因果园皇家漆器厂当时尚未组建，应是其他官办漆器作坊的制品[6]。此“剔黄笔管”集剔黄与泥金两项技艺于一身，“沥粉贴金盝顶匣”集沥粉与贴金两艺于一器，皆弥补了《髹饰录》记载之不足。《髹饰录》的“斒斓”、“复饰”、“纹间”等条目，所述都是集两种或多种髹漆工艺于一器的，但细目中却不见剔黄兼泥金；《髹饰录》一书关于金漆的记载不下十几处，独不见沥粉兼贴金[6]。

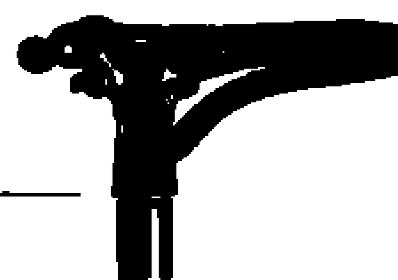
（二）部分馆藏明代漆器

这类器物较多，仅《中国工艺美术全集》“漆器”部分便载有 40 件，其中包括故宫博物院所藏 32 件、安徽省博物馆 3 件、南京博物院和苏州市博物馆各 2 件、中国国家博物馆 1 件；年代由永乐年间到明代晚期；苏州市博物馆所藏 2 件漆器原注明为明墓出土，其他或多为传世品。器物有盒 23 件，盘 7 件，箱 3 件，壶 2 件，屏风 2 件，匣、洗、笔筒各 1 件。依装饰工艺粗略分来，约包括 10 种类型：（1）剔红器，计 12 件，其中普通剔红器 10 件（标本号为 114、115、116、117、118、119、122、125、126、135 号）、皮胎剔红器 1 件（133 号）、紫砂胎剔红器 1 件（136 号）。（2）剔黑器，1 件（123 号）。（3）剔彩器，2 件（120、134 号）。（4）戗金器，3 件，其中戗金红漆器 1 件（121 号）、戗金黑漆器 2 件（同为 124 号）。（5）雕填漆器，7 件（127、128、129、130、131、132、137 号）。（6）填漆器，3 件（138、139、140 号）。（7）螺钿器，3 种 6 件，其中螺钿黑漆器 3 件（146、148、151 号）、锡胎螺钿黑漆器 1 件（152 号）、彩绘螺钿器 2 件（143、149 号）。（8）描金器，3 种 4 件，即黑漆描金器 1 件（145 号）、皮胎黑漆描金器 1 件（150 号）、朱地彩绘描金器 2 件（141、142 号）。（9）素髹黑漆器 1 件（144 号）。（10）百宝嵌器 1 件（147 号）。其器胎多为木质，此外还有皮胎、紫砂胎、锡胎等；其装饰工艺最多的是各种雕漆，包括剔红、剔黑、剔彩、雕填漆，计 22 件，占标本总数的 55%；此外还有螺钿、彩绘、戗金、描金、填漆、素髹等；独不见金银平脱器。好几件器物皆集多种工艺于一身[7]。这些标本虽皆是从美术史，而不是技术史角度来选择的，但也在较大程度上反映了明代髹漆技术发展之大观。

此期的民间收藏亦较丰富，如山西南部各县，百姓家往往皆有明代金漆、彩漆、雕漆、螺钿的大屏风、大木箱或大立柜等器收藏。立柜高八尺、一丈不等，柜门多作山水、人物、花鸟等图画。其漆多产自洪洞县一带，极富民间工艺价值[8]。

**二、制胎技术的发展**

在此较值得注意的事项有二：（1）文献上有了关于各种器胎的系统记载。（2）



除沿袭先世创制的器胎外，此期又使用了少数新的器胎。

我国数千年的漆器制造中，所用主要是木胎，明代自然也是这样的。依加工方法和厚薄之不同，又有斫木胎、旋木胎、卷木胎、雕木胎，以及厚木胎、薄木胎等之别。《髹饰录》“质法”第十七“棬榛”条在谈到卷木胎时说：“棬榛，一名胚胎，一名器骨。方器有旋题者，合题者。圆器有屈木者，车旋者。皆要平正、轻薄，否则布灰不厚。布灰不厚，则其器易改败，且有露脉之病。”[9]这里谈到了木胎的基本类型，及其制胎时的注意事项。

除木胎外，明黄成《髹饰录》较为注意的便是木胎夹纻，其把这种胎质称之为“布漆”，意即在木胎和布上髹漆。其说本书第四章已经引用。杨明“注”又对此“布”的质料作了进一步解释，云：“古有用革莩衣，后世以布代皮，近俗有以麻筋及厚纸代布，制度渐失矣。”[10]杨明所云“布”质的演变顺序虽未必十分准确，但应大体如此。

除木质胎和木胎夹纻外，杨明“注”说还谈到了其他多种胎质，即：“篾胎、藤胎、铜胎、锡胎、窑胎、冻子胎、布心纸胎、重布胎，各随其法。”[9]杨明在谈到描金罩漆时，还谈到过皮胎，说“今处处皮市多作之”[11]。可见黄成和杨明提到的胎质计有11种。这众多种类的器胎，杨明之前还不曾见人做过这种统计和说明。此“窑胎”即窑器，如上述紫砂胎器等。冻子胎，含义不明，有学者认为它可能是某种胶质物，干涸后十分坚硬，可作胎骨，亦可代替漆或漆灰在器物上做出花纹来[12]。“布心纸胎”，应是布胎外再糊纸。“重布胎”，即是重布以为胎，是即夹纻胎[13]。个中“冻子胎”、“布心纸胎”此前尚未见人提到，很可能是明或稍前的一项技术创造。

除黄成和杨明所说外，明代漆器也使用过金银胎。清高士奇《金鳌退食笔记》卷下载：“明永乐年制造漆器，以金、银、锡、木为胎。”[4]如此说来，明代漆器胎质便至少有13种。

下面仅举例介绍不太多见的皮胎和紫砂胎器。“冻子胎”和“布心纸胎”器实物在传世品和考古发掘中皆未看到过。

孔雀牡丹纹皮胎剔红盘。直径35厘米，高5.2厘米。皮胎，灰漆地，涂红漆。盘心雕三道弦纹，内有牡丹、孔雀纹；盘心四周雕瓜果，盘之背面雕勾连纹。属明代中期至晚期，故宫博物院藏[7]。

“时大彬造”山水人物纹紫砂胎剔红壶。口径7.6厘米、通高13厘米。紫砂胎，方形身，柄呈环曲线状，通体髹红。壶身四面开光，其内有山水、人物、乐器等器饰纹；肩部饰锦纹地杂宝纹；盖上有莲花形钮，其周亦饰杂宝纹；柄及流上饰云鹤纹。底髹黑漆，漆下隐约可见“时大彬造”楷书款。时大彬为万历年间著名的紫砂壶作者。以时大彬紫砂器为胎的漆器仅见此一器。属明代晚期，故宫博物院藏[7]。

**三、雕漆技术的发展**

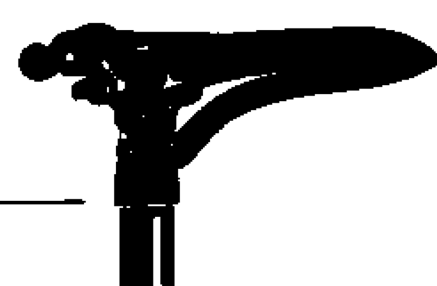
雕漆至迟发明于后赵或三国时期，宋、元时期便有了一定发展，及明，又发展到了一个新的高峰，不但产量大、品质好，而且出现了多种工艺形式和艺术流派，人们还对它进行了系统的总结和归纳。

明代雕漆约有7种类型，即剔红、剔黄、剔绿、剔黑、剔犀、剔彩、复色雕漆，这在黄成《髹饰录》“雕镂”第十中都已提到，这种分类法此前是未曾看到的。7种类型之中，用得较多的依然是剔红，其工艺已达到相当高的水平。清高士奇《金鳌退食笔记》卷下载：明永乐年果园皇家漆器厂制造漆器，“有剔红、填漆二种。所制盘合（盒）文具不一。剔红合有蔗段、蒸饼、河西、三撞、两撞等式，蔗段人物为上，蒸饼花草为次。盘有圆、方、八角、绦环、四角、牡丹瓣等式。匣有长、方、二撞、三撞四式。其法朱漆三十六次，镂以细锦，底漆黑光，针刻‘大明永乐年制’，比元时张成、杨茂剑环香草之式似为过之。宣宗时，厂器终不逮前工，屡被罪，因私购内藏盘合，磨去永乐书细款，刀刻宣德大字，浓金填掩之，故宣德款皆永乐器也”[4]。这里主要谈了剔红器在明代的发展情况。明高濂《遵生八笺》卷一四“燕闲清赏笺上”载：“穆宗时，新安黄平沙造剔红，奇巧精雅，花果人物之妙，刀法圆滑清朗。”[2]此主要赞扬了黄成剔红技艺之高超。连同剔红器在内，多种雕漆器前已提及，操作上大同小异，不再一一说明。今仅介绍一下剔彩和复色雕漆。

剔彩。是用不同颜色的漆，逐层髹到器物表面，每层若干道，使各色层都有一定厚度，之后再用刀剔刻。需何种颜色，便将它上面的各个漆层皆剔去，使需要的色层显露出来，并在上面刻镂花纹。最后便得到一种具有不同色层的漆雕，五彩斑斓，故名彩雕[14]。剔彩又可分为两种类型，一是繁文素地，即器物表面几乎全为繁缛的花纹占去，只在花纹间露出少量再也无从下刀的光素地子；二是疏文锦地，即花纹疏朗，其间露出的地上可雕刻出一种或几种花样，而成为锦地[15]。如故宫博物院藏林檎双鹂图剔彩捧盒，口径44厘米、高19.8厘米；由红、黄、黑、绿4色漆髹成，计13层，由下至上的排列顺序为：红、黄、绿、红、黑、黄、绿、黑、黄、红、黄、绿、红。盖面圆光内的红锦地上，雕木檎（沙果）一枝，其上果实累累；枝头立两黄鹂，相向呼应；另有蜻蜓、蝴蝶各一。在红锦地凸起的长方面上，刀刻填金“大明宣德年制”款。圆光外及足上部各雕缠枝花果一周，有桃、石榴、樱桃、葡萄等。上下口边刻花卉两周，有牡丹、茶花、菊花等。四周花果纹均无锦纹地，而以黄素地衬托[7]。

复色雕漆。杨明“注”认为，这是一种“髹法同剔犀，而错绿色为异，雕法同剔彩，而不露色为异”的工艺[16]。即是说，复色雕漆是将几种色漆一层层髹上去的；剔法与剔彩同样，以花鸟、山水人物为题材。与剔犀不同处是：（1）其可髹绿，剔犀的传统做法是不髹绿色的。（2）不以回转圆婉的图案，如绦环、云钩、香草等为题材。与彩雕和犀剔皆不同处是：全器表面纯系一色，不分层取色，未显露几种不同的色漆。而彩雕和犀剔表面都显示了不同颜色[17]。十分遗憾的是，这种复色雕漆的实物迄今尚未看到。

在雕漆技术普遍发展的基础上，从元到明，都存在两个雕漆水平较高的地区体系[18]：一是浙江嘉兴，元时著名雕漆家张成、杨茂，明永乐时的张德刚、明天启时杨明，皆嘉兴人；与张德刚同时的包亮，明隆庆时新安人黄成亦属这一系统。二是云南。据《万历野获编》卷二六载：“元时下大理，选其工匠最高者入禁中，至我国初收为郡县，滇工布满内府，今御用监供用库诸役，皆其子孙也，其后渐



消灭。嘉靖间又敕云南拣选送京应用。”明高濂《遵生八笺》卷一四“论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”载：“云南(人)以此为业，奈用刀不善藏锋，又不磨熟棱角。”[2] 现存许多永乐宣德时期浙江系统的作品皆注重磨工，不露刀痕；而嘉靖以后者皆有露出锋棱的剔法，这显然与云南漆工的影响有关[18]。

**四、镶嵌技术的发展**

我国古代漆器镶嵌的内容十分丰富，戗金、填漆、螺钿、百宝嵌等技术在明代都有较大发展，尤其是后二者。

（一）螺钿技术的发展

螺钿技术约发明于大甸子文化时期，之后便一直沿用了下来，西周、唐代、宋代，都曾获得过较大的发展。及明，便进入了更为繁盛的阶段，薄螺钿技术更为成熟，人们不但对钿片本身的装饰更为重视，出现了划文、镌甸、衬色等多种不同的操作，使螺钿器五彩斑斓，显示了更高的艺术价值，而且也有了较为详明的记载。

《髹饰录》“填嵌”第七“螺钿”条载：凡螺钿，“百般文图，点、抹、钩、条，总以精细密致如画为妙。又分截壳色，随彩而施缀者，光华可赏。又有片嵌者，界郭理皴皆以划文。又近有加沙者，沙有细粗”。杨明“注”云：此“点、抹、钩、条”等，指螺片加工后的形态，计 55 式，无所不备，皆刀、凿、刻而成。其“壳色有青、黄、赤、白也”。此“沙”即壳屑，“分粗、中、细。或为树下苔藓，或为石面皴文，或为山头云气，或为汀上细沙”。“凡沙与极薄片，宜磨显揩光”[19]。这里谈到了螺片的制作、颜色、成文的一般情况。大凡薄螺钿器多用加“沙”法。

薄螺钿工艺约始见于宋[7]。有关器物在明代便有了增加，大家较为熟悉的有故宫博物院藏鹭鸶莲花纹嵌螺钿黑漆洗等。此洗椭圆形，长 38 厘米、宽 21.5 厘米、高 7.7 厘米。洗内嵌鹭鸶莲花纹，洗外嵌石榴花纹，螺壳皆闪白光，不分色。全部花纹皆用窄条螺钿嵌出，不用壳片，也无划纹。断代明代中叶或稍晚[20]。此外，有关器物还有一些，不再一一枚举，国内外都有收藏。

下面分别介绍钿螺片的划文、镌甸、衬色等三种装饰性加工：

所谓钿螺划文，即上述黄成所云“界郭理皴皆以划文”。一般而言，不管厚螺钿还是薄螺钿，皆须划文。划文的方法，皆视构图之需和螺片本身的性状来决定。划文计分两种，一是各螺片因拼合形成的接缝，客观上便成了画面构图的线条。二是专门在螺片上刻划出来的线条，如花叶的脉文和筋须，树石的皴擦，禽兽的羽毛，人面的眉眼口鼻，衣服的皱褶等，皆须专门刻纹，光靠接缝纹是不能将图像完全表现出来的[21]。

所谓镌甸，实际上是一种浮雕式钿螺划文工艺。做法是：用钿螺、玉珧、老蚌等贝壳，镌刻成飞禽、走兽、花果、人物，再镶嵌到漆地中，并组成所需图案[22]。《髹饰录》“雕镂”第十载：“镌甸，其文飞走、花果、人物、百象，有隐现为佳。壳色五彩自备，光耀射目，圆滑精细，沈重紧密为妙。”所云即是此意。其与上述螺钿划文的区别是：划文螺钿与漆面是平齐的，钿螺上的刻划文理，是嵌人、磨显后再刻划出来的。而“镌甸”则是，将花纹刻成之后，再嵌入漆地的，漆器表面呈不平状。其与下述百宝嵌的区别是：百宝嵌所嵌之物为“百宝”，而镌

甸所嵌之物只是钿螺“一宝”而已[23]。

衬色螺钿，即是在薄螺片下再衬以金、银，或其他色片的工艺。《髹饰录》“填嵌”第七载：“衬色甸嵌，即色底螺钿也。其文宜花鸟、草虫，各色莹彻，焕然如佛郎嵌。又加金银衬者，俨似嵌金银片子，琴徽用之亦好矣。”因一般钿片之色，皆限于天然自生而成；在薄螺片下衬色之后，便相当于人工设色了，从而极大地增加了各种用色的灵活性。因所衬之色可透过薄薄的螺片映射出来，其状便类同于掐丝珐琅（佛郎嵌）；若衬金银，便能显示出类似于嵌金银的效果[22]。

（二）“百宝嵌”技术的发展

顾名思义，百宝嵌便是诸多“宝物”共嵌于同一漆器上的工艺。“百”言多也。其早期形态约在唐代，及至西汉时期便已出现，前述一枚唐螺钿宝相花镜镶嵌有玉石、青金石、贝壳、琥珀等，西汉一些扬州漆器上镶有金、银、玛瑙等物。但“百宝嵌”一辞却始见于明，明代所嵌饰的宝物更多，加工更为精细，构图更为新颖。

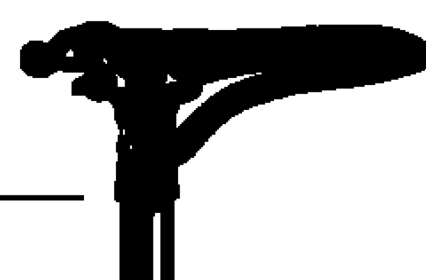
《髹饰录》“斒斓”第十二“百宝嵌”条载：“百宝嵌，珊瑚、琥珀、玛瑙、宝石、玳瑁、钿螺、象牙、犀角之类，与彩漆板子，错杂而镌刻镶嵌者，贵甚。”杨明“注”：“有隐起者，有平顶者。”可见“百宝嵌”饰件的材质种类是较多的，皆系名贵之物。从杨明“注”可知，其花纹计有两种类型，一是隐起如浮雕者，二是平顶而不见起伏者。类似的记载在谢堃《金玉琐碎》、钱泳《履园丛话》等中都可看到，而且说得更为详明。

在“百宝嵌”实物中，大家较为熟悉的是中国国家博物馆藏“千里”款嵌螺钿锡胎黑漆执壶。其高 35 厘米、长 7 厘米、宽 6.3 厘米，壶身修长，断面作四方刳角海棠形；柄、流细长，棱边嵌螺钿鱼子片及小六瓣花。颈、腹各有开光，皆在黑漆上以红玛瑙、珊瑚、绿松石，及白色和绿色螺钿嵌成花鸟小景。盖面作描金缠枝花卉。外底有螺钿篆书款“千里”二字，可知其成于明末江千里之手。江千里螺钿器久负盛名，此壶精美轶群，当为其代表作。属明代晚期[7][24]。

**五、宝色汇聚的斒斓技术**

“斒斓”，这是黄成在《髹饰录》中提出的新型髹饰门类。斒斓者，即色彩杂错鲜明、宝色汇聚之意。前云“百宝嵌”是指镶嵌了多种宝物的工艺，仅仅是指镶嵌说的；此斒斓，则是兼容了镶嵌，而且还包含了描金、雕漆、填漆等诸多髹饰工艺，容入了能容的诸多宝色。《髹饰录》“斒斓”第十二杨明注云：“金银宝贝，五彩斑斓者，列在于此。总所出宋、元名匠之新意，而取二饰、三饰可相适者，而错为一饰也。”百物同献、宝色汇聚，是明代髹饰技术的一项重要成就，也是一个重要特点。

斒斓技术包含的门类较多，依《髹饰录》所列，有描金加彩漆、描金加甸、描金加甸错彩漆、描金散沙金、描金错洒金加甸、金理钩描油、描金错甸、金理钩描漆加甸、金理钩描漆、金双钩螺钿、填漆加甸、填漆加甸金银片、螺甸加金银片、衬色螺钿、戗金细钩描漆、戗金细钩填漆、雕漆错镌甸、彩油错泥金加甸金银片、百宝嵌，计 19 种。前面提到过的衬色螺钿、百宝嵌也都包含在了斒斓中，这是我国古代漆器中，至为名贵之品。



在明代漆器的诸多装饰工艺中，与斒斓不同的另一面，还有一种素色漆器，因其素色无文，显得纯真、淡雅，而别具一格。其多为一般用具，也有少量为案头文玩，可供文人学士陶冶情操，洗涤心志，警示良知。

**六、黄成及其《髹饰录》**

黄成，号大成，新安平沙人，明代著名漆工，约生活于隆庆（1567～1572年）前后。《髹饰录》一书是我国古代髹饰工艺技术的汇聚，也是黄成毕生经验的总结。此书在明、清时期是否曾经付梓，眼下尚无确凿资料。只知其著成后，曾于天启乙丑间（1625年）由杨明逐条加注过。今见最早的版本是1927年由朱启钤刊印的，所本系日本人收藏的一个手抄本[25]。

“髹饰”一词始见于《周礼·春官·巾车》，其云：“駹车、萑蔽、然複、髤饰”。这是我国古代文献中较早提到“髹饰”一词的地方。杜子春云：“垸子桼直谓髤漆也。”[26]《汉书》卷九七下唐师古注云：“以漆漆物谓之髹。”髤，同髹，桼同漆，可知“髹漆”即是俗所谓上漆、涂漆之意。“髤饰”便是涂漆以作装饰。《髹饰录》计分乾、坤二集，18门，186条，叙述了工具和原材料准备、成型，到各种髹饰工艺。乾集只有“利用”、“楷法”2门；“利用”门主要介绍髹漆所用的工具和原料，“楷法”主要介绍髹漆工艺的楷模和章法，实即是一些注意事项和操作警示。坤集计16门，分别介绍各种不同的髹饰工艺，如：（1）质色，无文彩的素色漆器。（2）纹匏，表面有不平细纹的漆器。（3）罩明，色地上罩有透明漆的漆器。（4）描饰，以油或漆描绘花纹者。（5）填嵌。（6）阳识，用漆堆出花纹者。（7）堆起，即用漆灰堆出花纹，并再雕刻、描绘。（7）雕镂。（8）戗划。（9）斒斓等。

《髹饰录》是我国古代保存下来的唯一的髹漆技术专著，它增进了人们对我国古代髹漆技术操作及其杰出成就的了解，在我国古代艺术发展史、技术发展史上，都占有重要的地位。

1.《髹饰录》记述了许多髹饰工艺，它一方面保存了大量的古代技术资料，另一方面对后世亦起到了启发和借鉴的作用。

2.《髹饰录》许多资料是首次见于记载的，对我们了解我国古代髹漆技术的发展状况及其成就都具有重要的意义。如唐代剔红，有关实物迄今未见，他处亦未曾见人提起，而黄成却说“唐制多印板刻平锦朱色，雕法古拙可赏”。这便成了关于唐代剔红的唯一资料。

3.《髹饰录》一书对髹饰工艺的分类和命名都反映了较高的认识水平，为今人对漆器的分类和命名提供了一个参考和依据[25]。

该书不足之处是：文字较为简单、隐晦，不太通俗易懂。自然，这丝毫掩盖不了其本身的光辉。

## 第十节　玻璃技术的发展

明代是我国古代中原文化区玻璃技术发展的一个重要阶段，由于社会的需要和这项技术本身的发展，此时出现了一个全国性的玻璃生产中心，即颜神镇。其

从成分配置到成型，已形成了一套较为规范的工艺；铅玻璃的主导地位已被钾钙玻璃所取代，玻璃的品种和产量都有了较大的扩展和提高。

**一、山东颜神镇玻璃生产中心的出现**

我国古代中原文化区的玻璃技术至迟发明于春秋晚期，之后，历代都有生产，但有关玻璃作坊遗址却一直很少看到，唯镇江发现过一处宋琉璃作坊遗址，及至元、明考古中，才在今山东博山，时称颜神镇，发掘了一个玻璃、琉璃生产中心。它的发现，说明我国古代玻璃技术、琉璃技术发展到了一个新的水平。直到20世纪前期，博山的玻璃、琉璃生产，在我国一直占有重要的地位。颜神镇也就成了我国较早的一个玻璃制作中心。

（一）颜神镇玻璃、琉璃生产中心的出现

由现有资料看，颜神镇玻璃、琉璃生产中心的形成约可上推至元末明初之时。这有文献记载和考古实物两方面的依据。

孙廷铨（1613～1674年）《颜山杂记》卷二载："炉座者，余家自洪武垛籍，所领内官监青帘世业也。维国家营建郊坛、飨殿，则执治其棂扉帘幌之事，而鳞次之琉璃，晶映上彻……隶籍内廷班匠事焉，故世执之也。"[1]此"棂扉帘幌"，当指玻璃。此"鳞次之琉璃，晶映上彻"，当指琉璃瓦类。可知颜神镇较早便生产有玻璃和琉璃两种产品。孙廷铨，今山东博山人，其生平事迹本章第一节已经提到。既然孙家的炉座自洪武垛籍，说明早在明代初年，其生产技术和生产规模都已达到了一定水平。依此而推之，颜神镇玻璃、琉璃生产，至少兴起于元代晚期。乾隆《博山志》卷七下"孙延寿传"也有类似的记载："家自洪武时隶籍内廷班匠事，故世执琉璃青帘。"孙延寿，孙廷铨的祖父。下面马上还要谈到，考古工作者今在颜神镇尚发掘有元末明初的玻璃作坊。

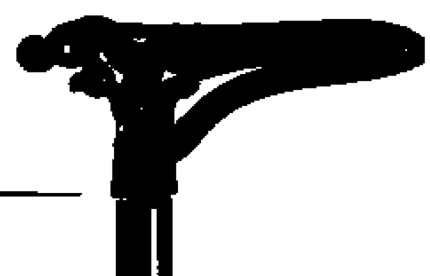
《颜山杂记》卷四"物产"条所列颜神镇物产有：石炭、铁冶、瓷器、黄丹、白矾、绿矾、淄石砚、琉璃等，其中最为重要的大约是石炭、陶瓷、琉璃，可算是颜神镇在明、清时期的三大手工业。玻璃自是包括在"琉璃"之中。康熙《益都县志》卷二也突出地谈到了琉璃等业的重要地位，云："其器用淄砚、琉璃、瓷器，颜神镇居民独擅其能，镇土瘠确，而无冻馁者以此"。

当时的玻璃、琉璃作坊主要集中在名为"西冶"的地方，且具相当规模。《颜山杂记》卷一"石城"载："大街北，出乱河，而西起于西寺之崖，陂陀而下，北至于叠道，西负崖，东枕孝河为西冶，言琉璃之炉冶也，其民多业琉璃。"[2]

颜神镇琉璃生产当时已负盛名。明末清初方以智《物理小识》卷七的"玻璨琉璃"条载："今山东益都颜神镇烧琉璃，采诸石以礁化之，即臭煤也。慢礁三日不熄，紧礁五日不熄，煮石为浆。"[3]方以智（1611～1671年），安徽桐城人，崇祯进士，属明末四公子。足见颜神镇琉璃已广为人知。

（二）颜神镇玻璃作坊遗址的发掘

1982年，博山某建设工地发掘了一处元末明初的玻璃作坊遗址，这是我们说颜神镇玻璃业始于元的又一证据。今发掘面积为403米$^2$，出土有熔炼矿石的大炉1座，生产玻璃器的小炉21座，此外还有数量不等的硝罐、硝罐盖、坩埚、模范、瓷器、玻璃器、玻璃料、玻璃料条等。炉子密布，排列整齐，可知这是工序较多，



分工较细的大型玻璃、琉璃作坊。其伴出物有“洪武通宝”铜钱1枚，下层为金、元遗址[4]。现将关于玻璃生产的主要遗物介绍如下：

大炉（L9），这是硝罐加热炉，将矿料置硝罐内，加热烧炼便成为玻璃汁。产品是俗称为“料条”的半成品。大炉平底，直壁，厚8厘米、残高40厘米，炉底呈方形，长2米，炉底距地表1.1米[4]。

小炉，这是加热玻璃料条，并将之烧制成器的设备。炉底平面有亚葫芦形（L12）和“凸”字形（L10）两种。如L12，仅存炉底，平面呈亚葫芦形，前小后大，长80厘米、深20厘米。后部直径30厘米，壁厚为8厘米的红烧土块；前部直径约30厘米，底和四壁皆为一层较薄的红烧土层。前部和后部以一条宽9厘米耐火砖通道相连。炉底前浅后深，呈簸箕形。每座小炉主要生产一种或一类产品，如L1，主要生产绿色玻璃；L2，主要生产乳白色空心玻璃簪；L5，主要生产浅蓝色和乳白色玻璃串珠；L11，主要生产淡黄色、乳白色、蓝色玻璃串珠[4]。

硝罐，9件。呈腰鼓状，实系置于大炉中，将矿石烧炼成玻璃汁的大型坩埚。唯标本L21:1完整，圆唇，敛口，鼓腹，小平底，厚重粗糙。高33厘米，口径18厘米、腹径28厘米，底径17厘米。其耐火材料中夹有粗砂。内壁粘有粉末状矿料[4]。

硝罐盖，2件。L5:2呈铁饼状，一面较平，中部稍厚，边部稍薄，中心有一圆孔，孔中配有耐火材料的圆塞[4]。

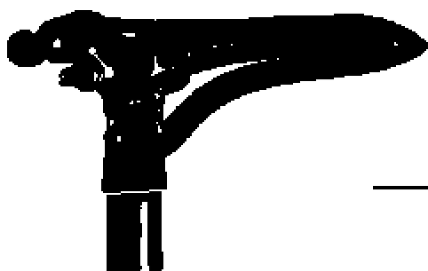
坩埚，2件，均残[4]。一件的复原高度约40厘米，口内径约30～32厘米，壁厚约5厘米。器壁断面分为两层，内层颜色较深，气孔率仅22%，致密且耐侵蚀；外层气孔率高达40%。这种坩埚的优点是能承受急冷急热的变化。内外两层气孔率不同，可能主要与熟料颗粒配比不同有关。此坩埚当采用了含二氧化硅、三氧化二铝较高的矿物制成，经检测，耐火度为1610℃～1630℃，完全可以满足玻璃生产的要求[5]。此坩埚呈直筒状，而硝罐是呈腰鼓形的。

范，1件，耐火材料制成，质地细腻，浅红色。长7.2厘米、厚1.6厘米、宽3厘米，正面中间有一横贯的纺锤形凹槽，两端有三个圆锥形凹槽[4]。所制器形不明。

此外，还有：（1）玻璃料，即矿石熔炼而得到的玻璃块，但尚未制成玻璃条，其大小不一。有半透明和不透明两种，颜色较多。（2）丝头，即制作器物后，剩余的料条残段，亦有不透明和半透明两种，颜色较多。（3）矿料，即炼制玻璃的矿石。烧炼玻璃所有燃料、矿料，皆系本地所产[4]。

（三）颜神镇玻璃产品的种类和使用情况

明代玻璃、琉璃品种较多，仅《颜山杂记》便记有18种，其卷四“物产·琉璃”条载：“琉璃之贵者为青帘”，“其次为佩玉”，“其次为华灯、屏风、罐合果山，皆穿珠之属”。“其次为棋子、风铃、念珠、壶顶、簪珥，料方皆实之属”。“其次为泡灯、鱼瓶、葫芦砚、滴佛眼、轩辕镜、火珠、响器、鼓珰，皆空之属”。依现代分类标准，约可归为3类：（1）生活日用品，如、青帘、泡灯、屏风等。前者即青色的玻璃帘子。（2）装饰用品，如簪珥等。（3）玩具等。可知此时玻璃器已较广地走进了人们日常生活的多个领域。其中当多属非晶态，部分产品可能





是非晶态和晶态，或其他形式的二相或多相结构。

颜神镇元末明初玻璃作坊出土的玻璃品种较少，只有簪数十件，串珠 14 件，环 2 件，簪花、柱形绞丝饰器各 1 件。有的半透明，莹润透亮；有的不透明，质如凝脂；有的实心，有的空心。玻璃器多为单色，有蓝、红（鲜红、豇红）、绿、黄、白（乳白、牙白）、黑、琥珀、影青等色，各色皆鲜亮纯正[4]。

## 二、玻璃原料的选择

今通过科学分析和文献记载，来了解明代玻璃原料的选择。

（一）元、明琉璃成分分析

表 8-10-1　　元、明玻璃、琉璃、矿料成分分析

| 编号、断代、名称、状态 | 成分（%） | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | FeO | PbO | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | 其　他 | |
| 1. 伊犁元代玻璃片，蓝绿透明含气泡 | 60.43 | 4.09 | 0.35* | | 8.16 | 4.71 | 5.27 | 15.78 | 0.02 | $MnO_2$ 0.04 | [6] |
| 2. 浅绿半透明玻璃珠 | 64.33 | 6.77 | 0.57 | | 10.77 | 3.66 | 8.67 | 3.3 | 0.11 | $TiO_2$ 0.31 | [4] |
| 3. 深蓝透明玻璃簪 | 59.93 | 6.06 | 0.3 | 0.46 | 9.42 | 0.22 | 19.78 | 2.0 | | | [4] |
| 4. 乳白空心玻璃簪 | 58.76 | 7.83 | 0.64 | 0.25 | 12.09 | 0.48 | 14.99 | 3.53 | | $TiO_2$ 0.25 | [4] |
| 5. 蓝色玻璃料 | 59.73 | 7.22 | | | 9.33 | | 20.34 | 2.44 | | | [4] |
| 6. 黑色玻璃料 | 64.38 | 5.90 | | | 13.52 | 3.29 | 8.39 | 3.61 | 0.11 | F 0.1 | [4] |
| 7. 紫色玻璃料 | 66.86 | 7.20 | 3.04 | | 8.21 | 0.3 | 12.19 | | 0.6 | $TiO_2$ 0.3 | [4] |
| 8. 淡绿玻璃料 | 72.04 | 19.97 | 0.76 | | 2.28 | 0.49 | 0.15 | 0.3 | 0.46 | F 0.8<br>$TiO_2$ 0.18 | [4] |
| 9. 黄色玻璃料 | 76.64 | 12.04 | 2.77 | | 1.99 | 0.94 | 3.67 | | 0.15 | $TiO_2$ 0.58 | [4] |
| 10. 淡蓝玻璃料 | 67.18 | 4.63 | | | 8.11 | 0.22 | 16.34 | 0.99 | 1.23 | | [4] |
| 11. 坩埚内熔过的琉璃块 | 58.48 | 6.58 | 0.3* | | 9.81 | 0.26 | 16.07 | 4.42 | 0.81 | $TiO_2$ 0.23<br>F 4.99 | [5] |
| 12. 明代浅蓝玻璃，不透明 | 68.7 | 0.7 | 0.23* | 5.21 | 7.71 | 0.17 | 15.6 | 0.05 | 1.35 | MnO 0.002<br>BaO 0.01 | [7] |
| 13. 玻璃的矿料 | 62.98 | 22.59 | 0.2 | | 2.08 | | 1.08 | 9.65 | | F 0.23 | [4] |
| 14. 硝罐粘壁残渣 | 28.80 | 43.02 | 1.26 | | 0.31 | 0.13 | 3.91 | 2.5 | | F 12.85<br>$TiO_2$ 4.64 | [4] |

注：（1）标有 * 号者，原标为 $Fe_2O_3$。

（2）除表中所列，8 号标本尚含 ZnO 0.35%，14 号标本尚含 ZnO 0.34%

表 8-10-1 示出了元、明两代 12 件玻璃、琉璃标本的成分。其中 1 号标本为新疆伊犁出土，属元代[6]。2～11 号标本皆山东博山玻璃作坊遗址出土，属元末明初。其中 11 号标本为琉璃，其余皆定为玻璃[4][5]。12 号玻璃标本出土地点不详，属明代[7]。由之可见：

1．此 12 件标本的成分约可区分为 3 系 8 型：

（1）钠系，1 型 1 件。

$Na_2O-CaO-K_2O-SiO_2$ 型，1 件，即 1 号标本，其钠、钙量都较高，此外还含有一定量的钾和镁。

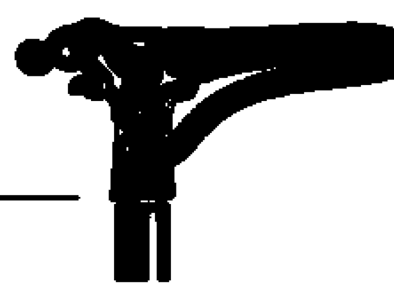
（2）钙系，3 型 3 件。

$CaO-K_2O-MgO-SiO_2$ 型，1 件，即 2 号标本。

$CaO-K_2O-Na_2O-SiO_2$ 型，1 件，即 6 号标本。

$CaO-SiO_2$ 型，1 件，即 8 号标本。此器熔剂量很低，含钙量只有 2.28%。

（3）钾系，4 型 8 件。



$K_2O-CaO-SiO_2$ 型，3 件，即 3、7、10 号标本。

$K_2O-CaO-Na_2O-SiO_2$ 型，3 件，即 4、5、11 号标本。

$K_2O-CaO-PbO-SiO_2$ 型，1 件，即 12 号标本。

$K_2O-SiO_2$ 型，1 件，即 9 号标本。此器熔剂量很低，含量只有 3.67%。

此三系之中，前系当为外域传来，后两系当为本地所产。在元末至明，颜神镇及中原其他地方，仍以钾钙玻璃为主；此期颜神镇玻璃、琉璃含 $K_2O$ 量都较高，其 10 件标本的平均 $K_2O$ 量为 12.06%。可知此期国产玻璃主要是钾钙型和钙钾型，钠钙玻璃依然很少看到。

2. 这些玻璃的 $SiO_2$ 含量较高，12 件标本的 $SiO_2$ 量处于 58.48% ~76.64%间，平均 64.79%。

3. 12 件标本中，只有 3 件显示了铅，其中 2 件标本的 PbO 量都较低，分别为 0.25%、0.46%，只有一件出土地点不详的标本 PbO 量达 5.21%。可知元末明初颜神镇基本上不生产铅玻璃。各作坊皆不生产含钡玻璃。

4. 12 件标本中，有 3 件含有一定量的氟。另外，一份矿料、一份硝罐粘壁残渣亦含氟。

5. 11 号标本为残留于坩埚内的琉璃料块，表层风化，经 X 射线衍射结构分析，主体为玻璃相，但亦发现有少量晶体。表中其他标本因未作结构分析，皆暂定为玻璃，但并不排除其具有二相或多相结构的可能性，即除非晶态外，可能还包含少量晶态，及至少量细小气泡。

由这些分析数据看，颜神镇元末明初玻璃的原料当主要有长石、硝石、萤石等。$K_2O$ 当主要由硝石等引入，铝和钙当主要由长石等引入，氟当是萤石引入。萤石既可作助熔剂，亦可作乳浊剂。

（二）原料选择

在明代以前，有关玻璃生产的文献记载既少且十分简单，明代之后才逐渐增多并详细起来。明初刘基《多能鄙事》、明代晚期宋应星《天工开物》、明末方以智《物理小识》、明末清初孙廷铨《颜山杂记》等都曾有记述。

《多能鄙事》卷五“炼琉璃法”在谈到琉璃、玻璃的配料比时说：“黑锡四两，硝石三两，白矾二两，白石末二两。右捣为极细，以锅用炭火熔前三物，和之，欲红入砯，欲青入铜青，欲黄入雄黄，欲紫入代赭石，欲黑入杉木炭末，并搅匀，令成色，用铁箭（?）夹抽成条，白则不入他物。”[8] 此“黑锡”即铅。此烧制玻璃的原料当为：铅、硝石（$KNO_3$）、明矾、石英石四种。明矾化学式为 $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$。其铅的配比较高，产品当属铅钾玻璃。此书成于明代初年，大体上反映了元末明初或更早一些的技术状态。

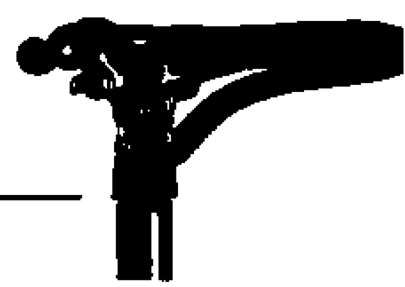
宋应星《天工开物》卷一八“珠玉·琉璃”条载：“凡琉璃石，与中国水精、占城火齐，其类相同，同一精光明透之义，然不产中国，产于西域。其石五色皆具，中华人艳之，遂竭人巧以肖之。于是烧瓴甋，转锈成黄绿色者，曰琉璃瓦。煎化羊角，为盛油与笼烛者，为琉璃碗。合化硝铅，写(泻)珠铜线穿合者，为琉璃灯。捏片为琉璃瓶袋（硝用煎炼上结马牙者）。各色颜料汁，任从点染。凡为灯、珠，皆淮北齐地人，以其地产硝之故。凡硝见火还空，其质本无，而黑铅为

重质之物。两物假火为媒，硝欲引铅还空，铅欲留硝住世，和同一釜之中，透出光明形象。”可见，此“琉璃”的基本组分是“五石”，但其具体含义却未明说；之后再依产品种类，再在五石的基础上做出适当调整。如，烧瓴甋，施釉（锈）成黄绿者为琉璃瓦；“琉璃”碗则需煎化羊角入内，此羊角当含钙、磷；琉璃灯则需加硝、加铅等；总体上是一种含铅含钾含钙的玻璃及琉璃。

孙廷铨《颜山杂记》卷四“物产·琉璃”条所述尤为详明：“琉璃者，石以为质，硝以和之，礁以锻之，铜铁丹铅以变之。非石不成，非硝不行，非铜铁丹铅则不精，三合然后生。白如霜廉削而四方，马牙石也。紫如英札札星星，紫石也。棱而多角，其形似璞，凌子石也。白者以为干也，紫者以为软也，凌子者以为莹也。是故白以为干则刚；紫以为软则斥之为薄而易张；凌子以为莹，则镜物有光。硝，柔火也，以和内礁猛火也，以攻外其始也。”可见此制作“琉璃”的原料主要是三大类，一是石，二是硝，三是铜铁丹铅。此石，文中说到了三种，即马牙石、紫石、凌子石。马牙石，有人释之为长石，也有人释之为石英。从元末明初颜神镇玻璃含硅量较高，且含铝量不低的情况看，当释为长石更为合理一些。长石种类较多，成分也较复杂，基本组分是硅和铝的氧化物。紫石，即萤石，氟化钙（$CaF_2$）。凌子石，即白云石（$CaCO_3 \cdot MgCO_3$）。此“硝”，结合前述科学分析看，当是硝酸钾，而不是硫酸钠等。“铜铁”当为着色剂。“丹铅”当为铅的化合物，如铅丹等。看来，此颜神镇琉璃的基本组分应当是 $SiO_2$，属钾钙玻璃。这些记载与前述元末明初标本分析结果基本相符。在表 8－10－1 中，颜神镇玻璃含铅量虽然较低，当亦有意加入。

自然，不同使用性能的器物，配料和加工工艺都是不同的。《颜山杂记》卷四“琉璃”条在谈到颜神镇所产琉璃、玻璃品种时说：碁子、风铃等，“料方，皆实之属”。而响器、鼓珰等，其配方便是“皆空之属”。这些情况都说明，人们对琉璃、玻璃成分与性能间的关系，已有了一定认识。此书虽成于明末清初，但这认识的获得当更早一些。

《颜山杂记》卷四“物产·琉璃”条还谈到了为获得不同色态的玻璃，而调剂组分及其配比的方法：“白五之、紫一之，凌子倍紫，得水晶。进其紫，退其白，去其凌子得正白。白三之、子（紫）一之，凌子如紫，加少铜及铁屑焉得梅萼红。白三之、紫一之，去其凌，进其铜，去其铁，得蓝。法如白焉，钩以铜碛得秋黄。法如水晶，钩以画碗石，得映青。法如白，加铅焉，多多益善，得牙白。法如牙白，加铁焉，得正黑。法如水晶，加铜焉，得绿。法如绿，退其铜加少碛焉，得鹅黄。凡皆以焰硝之数为之程”。此第一种，即“水晶”，当指无色透明玻璃，其三种原料配比当为：石英 62.5%、紫石 12.5%、白云石 25.0%。此第二种，即“正白”的料方是：在“水精”玻璃基础上，增加紫石，减少石英，去掉白云石，目的是增加玻璃的乳浊度，使玻璃由透明变成不透明的白色。此第三种，即“梅萼红”玻璃，其料方中的三种矿石的配比是：马牙石三（60%）、紫石和凌子石各一（各 20%）。其他不再一一重复。此铜碛，即黄铁矿（$FeS_2$）。画碗石即无名异（氧化钴 CoO）。铜、铁、钴都是着色剂。这提到了一系列的工艺规范，可惜的是其中未提到硝石量。



总体上看，中原明代玻璃，当主要是钾钙系，钠钙系依然很少看到。

**三、烧炼和成型技术**

（一）文献记载中的成型工艺

颜神镇玻璃成型的基本工艺是吹制，辅助工艺有滴、铸、缠、写、车、错、点、旋等，《颜山杂记》卷四对此曾有详细说明。该书重点介绍了吹制法，其先谈到了一般原理，接着谈到了多种器物的具体操作，基本上反映了我国明代玻璃技术的发展水平。

其在谈到吹制法的一般操作原理时说："凡制琉璃，必先以琉璃为管焉，必有铁杖剪刀焉，非是弗工。石之在冶，涣然流离，犹金之在熔。引而出之者，杖之力也，受之者管也。授之以隙，纳气而中空，使口得为功管之力也。乍出于火，涣然流离就管矣，未就口也。急则流，缓则凝；旋而转之，授以风轮；使不流不凝，手之力也。施气焉，壮则裂、弱则偏。调其气而消息之气行，而喉舌皆不知，则大不裂，小不偏，口之力也。吹圆毬者，抗之；吹胆瓶者，坠之。一俯一仰，满气为圆，微气为长，身如朽株，首如兆鼗鼓，项之力也。引之使长，裁之使短，拗之使屈，突之使高，抑之使凹，剪刀之力也。"这里详细地谈到了玻璃吹制技术的一般要领和操作方法。器圆器长，器大器小，全在口之力也。在此顺带提一下"流离"一词，由引文"涣然流离"可知，此"流离"显然是状貌的；又，宋《文房四谱》卷四"纸谱"在描写流沙笺的性状时说："以纸曳过令露濡，流离可爱。"此"流离"显然也是状貌的。这些，对我们了解"琉璃"一词的本意和它是否外来语，都有一定的帮助。

其在介绍各种空心类器物的吹制工艺时说："凡为葫芦，先得提，后得腹，接处为腰。为含子葫芦，先得子，次得提，纳子焉后得腹。凡为鱼瓶，先得口，次得腔，次得山，后得果枝。凡为花簪，先得茎，后得顶，断而殊之，易手而燎之，后得蜂末。凡为响器，先得下口，后得上口。凡为滴砚，先得顶口，次得腹，次得提，后得吐水。凡为灯碗，先得圆毬，吸其下，按其上，断其脐，而坐之，上反为底，下反为面。凡为鼓珰，先得葫芦，旋烧其底，而四流之，以均其薄。欲平而不平，使微杠焉，以随气之动乃得鸣。鼓珰者，响葫芦也，言微气鼓之而珰鸣也……凡为空者，先养其气，气圆而体圆，此学书之说也。"此谈到了葫芦、含子葫芦、鱼瓶、花簪、响器、灯碗、鼓珰等的吹制要领。其工艺步骤是：先用铁吹筒将玻璃液引出，再用口吹气。吹气时手要不断旋转，使玻璃液不流不凝。急则流，缓则凝。其中的一个关键便是用气量恰到好处，两手须密切配合。

其在介绍实心器物的成型工艺时说："围棋滴之，风铃范之，料方也如之。条珠缠之，细珠写之，大珠缠之、戛之。簪珥惟错车磲者杂二色药而糅之；玛瑙者，珐瑯点之，缠丝者，以药夹丝待其融也，引而旋之。"

其他文献也谈到过玻璃成型工艺。如前引《多能鄙事》卷五"炼琉璃法"谈到了"用铁筒夹抽成条"等，但较为简单。

（二）传统技术中的烧炼和成型技术

博山的传统玻璃生产工艺一直保存了下来，20 世纪 30 年代[9]和 80 年代[4]，都有学者做过专门调查，这对我们了解元、明、清三代，及至更早的玻璃生产工

艺都是很有帮助的。20 世纪 80 年代时，其炉子主要有大炉、小炉两种。“大炉”是一种坩埚式加热炉，主要用于生产玻璃料；“小炉”是直接加热玻璃料，以便成型的。与元末明初的大、小炉结构较为接近[4]。

据 20 世纪 80 年代的调查，一座大炉尺寸为：长 1.9 米、宽 2.14 米、高 2.62 米。底部设有炉条，炉条上置焦炭，焦炭上置硝罐烧炼。炉条原用枣木等硬质木棒制成，今改用了铁轨。硝罐内装上配好的矿石后，便置于炉腔中，并盖严。在高温下，罐内矿石熔化为玻璃汁。达一定火候时，打开出料口，启开硝罐盖，除去浮滓。再用药杵，即一端粘有圆球状耐火料的铁柄状炉具，从硝罐内蘸出玻璃汁，将其拖淌到铁板上，即凝为料条。趁其尚软时，用铁箝将玻璃条截成 1 米左右，以供小炉使用。这种炉的结构和大小与元末明初 L9 基本相同[4]。

20 世纪 80 年代时，博山仍有一种以手工制作珠、环等小件器物的小型玻璃炉。其横断面呈亚葫芦形，宽处 69 厘米、束腰窄处 30 厘米。炉体高 72 厘米、长 120 厘米。炉腔呈密封式。炉顶平，中间有一条出火口；其水平尺寸为：长 38 厘米、中段宽 13 厘米、两端宽 4 厘米。炉内烧焦炭。出火口上盖一弧形耐火瓦，其既可把炽烈的火苗逼向炽火口两端冒出，亦可起到保温的作用。炉的两端可各坐一人操作。工匠一手持药捻子（即粘满耐火料泥浆的铁条），一手持料条，并在出火口处搭于药捻子上。于是，玻璃料烧成了粘稠态，有节奏地捻转和抽药捻子，玻璃串珠、玻璃环即刻制作出来。这种小炉的结构与元末明初小炉 L12 相似[4]。

**四、关于明代对玻璃的一些称谓**

玻璃是古人为仿玉而烧制的一种无定形物质，在明代以前的漫长历史时期内，它一直没有固定的称谓，其中使用较多的一个名称是“琉璃”，但这一名称在古代至少有三层含义，即天然水晶、建筑用琉璃、玻璃。从《颜山杂记》等书的记载来看，直到明末清初，玻璃仍是琉璃的一个品种，是包含于琉璃之中的。除“琉璃”外，此期人们对玻璃的称谓还有“罐子玉”、“硝子”、“玻瓈”、“玻黎”、“颇梨”、“假水晶”、“水晶”、“水玉”等名。但值得注意的是，在部分文献中，“玻璃”一词已具有了与现代较为接近的含义。

明初曹昭《格古要论》卷中“罐子玉”条载：“雪白罐子玉，系北方用药于罐子内烧成者。若无气眼者，与真玉相似，但比真玉则微有蝇脚，久远不润且脆甚。”[10]显然，此“罐子玉”即是玻璃。元代也有类似的名称。元陶宗仪《辍耕录》卷二一载，元“将作院”的下设机构有“玉局提举司”、“玛瑙局提举司”、“金丝子局”、“瓘玉局”、“珠子局”等[11]。此“瓘玉局”很可能便是主持生产和加工“罐子玉”的管理机构。

《格古要论》卷中“硝子”条：硝子，“假水晶，用药烧成者，色暗青，有气眼。或有黄青色者，亦有白者，但不洁白明莹”。此“硝子”、“假水晶”，显然都是玻璃。

同书同卷“玻瓈”条：玻瓈，“出南蕃，有酒色、紫色、白色者，与水晶相似，器皿皆多碾雨点花儿者是真；其用药烧成者入手轻，有气眼，与琉璃相似”。此“玻瓈”当指南蕃玻璃。

《明史》卷六七“舆服志·文武官冠服”载，嘉靖八年更定朝服之制，在谈到

佩饰时说，“三品以上玉，四品以下药玉”。显然此“药玉”当指国产玻璃，其使用量还是不小的。

《夷门广牍》：“玻黎出南蕃……与水晶相似……其用药烧煮者，入手轻，有气眼，与琉璃相似。”[12]其文字与《格古要论》卷中“玻瓈”条基本一致。可见此“玻黎”，亦南蕃“用药烧成”的玻璃。

《本草纲目》卷八“水精·集解”，李时珍曰：“水精亦颇黎之属，有黑白二色，倭国多水精，第一。南水精白，北水精黑，信州武昌水精浊，性坚而脆，刀刮不动，色澈如泉，清明而莹，置水中无瑕(瑕?)。不见珠者佳。古语云水化，谬言也。药烧成者有气眼，谓之硝子，一名海水精。《抱朴子》言，交广人作假水精盌是此。”依李时珍之见，水精亦有两种，一为天然自生者，二为药烧成而有气眼者，当亦玻璃，其名硝子。看来，此“水精”、“颇黎”、“硝子”、“海水精”都是玻璃，当时国内南北已有多处生产。

在人们用“琉璃”、“水精”称呼人工烧制的无定形物质的同时，也较为准确地使用了“玻璃”一词。

万历进士顾起元《客座赘语》载：“玻璃：一作颇梨，一作玻璃，西国宝，千年冰作化，故曰冰玉。今有外国所市玻璃杯、镜，乃烧成者。又有五色小瓶，值极高，毹质俱自销冶所成，非所谓冰玉也，恐别是一种耳。”

明末方以智《物理小识》卷七“玻瓈琉璃”条载：“今山东益都颜神镇烧琉璃，采诸石以礁化之，即臭煤也。慢礁三日不熄，紧礁五日不熄，煮石为浆，重滤而凝即玻璃也，西玻璃镜近亦取此。”[3]可知方以智是把“玻瓈”与“琉璃”同视为一物，且不分地域，把东方、西方的玻璃都使用了同一名称。

明末清初屈大钧（1630～1696年）《广东新语》卷一五“货语”还专设了一个“玻璃”的条目，说：“玻璃来自海舶，西洋人以为眼镜……又以玻璃为方圆镜、为屏风。”可知清代初年，“玻璃”一词已较为流行。

将玻璃块简称为“料”之事可能早在明代便已出现。《颜山杂记》卷二谈到了孙廷铨曾祖父的一些情况：“曾大父柳溪公，讳延寿……大父所居惟堂一寝一，余屋八九间，仆婢才给洒扫，晨起检料毕，即还视炉座、工人。”此“检料”，当指收拾玻璃、琉璃料。孙延寿当为明代晚期人。

# 参考文献

## 第一节 采矿技术的大发展

[1]《明实录·太祖实录》卷二一。

[2] 万小仟:《明代贵山冶铁遗址》,《南方文物》1993年第1期。

[3] 明末清初孙承泽:《春明梦余录》卷四六"工部一·铁厂"条:"正统初,尝谕工部:军器之铁止取足于遵化,不必江南收买,后复命虞衡司官主之。则国初诸官冶虽废,而遵化铁矿尚足供工部之用也。"文渊阁《钦定四库全书》抄本第二十二册,第70页,武汉大学出版社电子版第318碟。

[4] 申时行重修:《明会典》卷一九四"工部·遵化铁冶事例"。

[5]《颜山杂记·提要》,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第236碟。本节所引《颜山杂记》皆"四库"本,以后不再一一注出。

[6] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。此文载有山东梁山出土的骨尺一枚,故宫博物院所藏嘉靖牙尺一枚,皆是1尺=0.32米。

[7] 赵承泽、何堂坤:《宋应星和〈天工开物〉》,《中国科技史料》1987年第6期。

[8] 新雨:《中国古代对煤的认识和应用》,《科技史文集》第九辑,上海科学技术出版社,1982年。

[9] 明陈继儒:《偃曝谈余》卷上,《四库全书存目丛书》子111-849,齐鲁书社,1995年。

[10] 张学君等:《我国宋代井盐钻凿工艺的重要革新——四川卓筒井》,《文物》1977年第12期。

[11](光绪)《射洪县志》卷九"职官·知县"。

[12] 明马骥:《盐井图说》,采自文渊阁《钦定四库全书》所收明曹学佺《蜀中广记》卷六六"方物记·井法"条。明万历初年,马骥曾任四川射洪县令,在任期间,曾与郭子章、岳谕方等人对射洪盐井技术进行了一番考察,之后由岳谕方绘制了"盐井图",马骥为之撰文,郭子章为之作"序"。可惜岳谕方的"盐井图"早佚,马骥《盐井图说》幸由曹学佺在《蜀中广记》中保存了下来,郭子章"序"在(光绪)《射洪县志》卷五"物产·盐井"条曾有引用。另外,《盐井图说》一书,一般认为只有一个稿子,即《蜀中广记》所说的马骥之稿,但郭子章对此事说得并不太明白,其《〈盐井图说〉序》在谈到盐井考察和撰书时是这样说的:"予过射洪,同马令明衡三问灶丁、井匠,颇得其详,顾命岳谕方记之,谕方前为图,后记其事末"。可知,岳谕方既绘了图,又有笔录,且对有关资料作过整理。

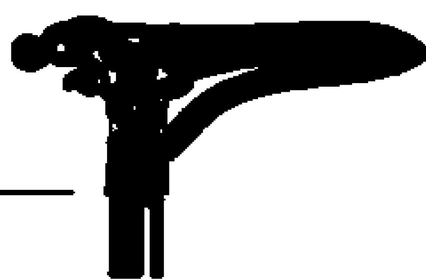
[13] 明郭子章:《〈盐井图说〉序》,见(光绪)《射洪县志》卷五。

[14] 刘德林、周志征:《中国古代井盐工具研究》第41~55页,山东科学技术出版社,1990年。

[15] 明曹学佺:《蜀中广记》卷六六(第二十四册)第27页,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第236碟。

[16] 明杨慎:《升庵外集》,台湾学生书局,1971年,据万历四十四年本影印。

[17] 明朱国祯:《涌幢小品》卷一五,《续修四库全书》1173-138。





### 第二节　金属技术的重大成就

［1］《笔记小说大观》第十三册，江苏广陵古籍刻印社出版，1983年。

［2］矩斋：《古尺考》，《文物参考资料》1957年第3期。

［3］丁格兰著，谢家荣译：《中国铁矿志》第二篇（《地质专报》甲种第二号），民国十二年十二月，农商部调查研究所印行。

［4］《重修政和经史证类备用本草》卷四“雌黄·宝藏论”条引。

［5］何堂坤：《关于明代炼钢术的两个问题》，《自然科学史研究》1988年第1期。

［6］何堂坤：《我国古代炼钢技术初论》，《科技史文集》第14辑，上海科学技术出版社，1985年。

［7］何堂坤：《关于灌钢的几个问题》，《科技史文集》第15辑，上海科学技术出版社，1989年。

［8］何堂坤：《百炼钢及其工艺》，《科技史文集》第13辑，上海科学技术出版社，1985年。

［9］明沈周：《石田杂记》，《四库全书存目丛书》子239－567，齐鲁出版社，1995年。

［10］何堂坤：《关于〈天工开物〉所记炼锌技术之管见》，《化学通报》1984年第7期。

［11］梅建军：《中国和印度古代炼锌术的比较》，《自然科学史研究》1993年第4期。

［12］赵匡华：《中国古代的金银分离术与黄金鉴定》，《化学通报》1984年第12期。

［13］郭正谊：《“墨娥小录”辑录考略》，《文物》1979年第8期。

［14］凌业勤等：《北京明永乐大铜钟铸造技术的探讨》，《科学史集刊》1963年第6集。

［15］吴坤仪：《梵钟的研究及仿制》、《明永乐大钟铸造工艺研究》，《中国冶金史论文集》，《北京钢铁学院学报》编辑部，1986年。

［16］吴坤仪：《明清梵钟的技术分析》，《自然科学史研究》1988年第3期。

［17］小松茂、山内淑人：《東洋古銅器の化學研究》、《古鏡の化學的研究》，分别载于《東方學報》（京都版）1933年第3册、1937年第8册。

［18］何堂坤：《中国古代铜镜的技术研究》第38页、第44页、第89～91页，紫禁城出版社，1999年。

［19］赵匡华等：《明代铜钱化学成分剖析》，《自然科学史研究》1988年第1期。

［20］明黄一正：《事物绀珠》，《四库全书存目丛书》子200～201册，齐鲁书社，1995年。又，清陈元龙《格致镜原》卷三四引。

［21］凌业勤等：《中国古代传统铸造技术》第340页，科学技术文献出版社，1987年。

［22］华觉明等译编：《世界冶金发展史》第622页，科学技术文献出版社，1985年。

［23］凌业勤等：《北京明永乐大铜钟铸造技术的探讨》，《科学史集刊》（6），1963年。

［24］何堂坤：《关于镔铁的产地和工艺》，《中国国学》，第25期，台湾，1997年。

［25］何堂坤：《关于花纹钢及其模拟试验》，《锻压技术》1988年第4期。

［26］丁安民：《我国现存最早的锻打铁画》，《江汉考古》1987年第3期。

［27］《天一阁藏明代方志选刊续编》（二十四），第887页，上海书店据明嘉靖刻本影印，1990年。

［28］张光远：《大明宣德炉》，台北《故宫文物月刊》第三卷第八期，1985年11月。

［29］王琎：《中国黄铜业全盛时代之一斑》，《科学》第十卷第四期第500页，1925年。

［30］张临生：《我国明朝早期的掐丝珐琅工艺》，《东吴大学中国艺术史集》第十五卷，1986年。

［31］明曹昭：《格古要论》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第

318 碟。

[32] 张子高、杨根：《镔铁考》，《科学史集刊》第 7 期，1964 年。

[33] 明周履靖：《夷门广牍》关于镔铁的记载，并参见《格致镜原》（第十五册）卷三四“珍宝三·铁”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟。

[34] 何堂坤：《中国古代的钢铁热处理技术》，《技术史丛谈》，科学出版社，1987 年。

[35] 凌业勤等：《中国古代传统铸造技术》第 407 ~ 413 页，科学技术文献出版社，1987 年。

[36] 杨宽：《中国土法冶铁炼钢技术发展简史》第 195 ~ 197 页，上海人民出版社，1960 年。

## 第三节　以景德镇为中心的明代制瓷技术

[1] 景德镇御窑厂的设置年代，史籍中曾有洪武二年和建文四年两种说法。《景德镇陶录》卷一“图说·景德镇图”：“明洪武二年（原注：《江西大志》作三十五年）就镇之珠山设御窑厂，置官监督烧造。”（同治九年版，中国书店 1991 年影印。）此“三十五年”即“洪武三十五年”，也即是建文四年，洪武年号实无“三十五年”。

[2] 明王宗沐：《江西大志·陶书》，成书于明嘉靖年间。熊寥主编《中国陶瓷古籍集成》（江西科学技术出版社，2000 年）转载。雍正十年《江西通志》(第二十四册）卷二七“土产·饶州”。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 228 碟，亦曾部分摘引。

[3] 此“过手七十二”当是工序多或很多之意。《景德镇陶录》卷一“图说·御器厂图”载，“陶务作二十有三，曰大器作、曰小器作、曰仿古作、曰雕镶作、曰印作、曰画作、曰创新作、曰锥龙作、曰写字作、曰色彩作、曰漆作、曰匣作、曰染作、曰泥水作、曰大木作、曰小木作、曰船木作、曰铁作、曰竹作、曰索作、曰桶作、曰东碓作、曰西碓作。”此“作”多数是不同的工序，有的当为辅助性作坊，有的则应是不同规格的成品作坊。朱琰《陶说》卷三“说明·造法”条等也曾引述。清康熙二十一年《浮梁县志·陶政》所载稍有差别。

[4]《明英宗实录》卷二二。

[5] 中国硅酸盐学会编：《中国陶瓷史》第 361 页，文物出版社，1982 年。

[6] 杨维增：《天工开物新注研究》第 164 页，江西科学技术出版社，1987 年。

[7] 周仁等:《景德镇瓷器的研究·景德镇制瓷原料及胎釉的研究》，科学出版社，1958 年。

[8] 郭演仪：《中国制瓷原料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[9] 周仁等：《景德镇历代瓷器胎、釉和烧制工艺的研究》，《硅盐学报》1960 年第 2 期。

[10] 郭演仪等：《古代龙泉青瓷和瓷石》，《考古》1992 年第 4 期。

[11] 周仁等：《历代龙泉青瓷烧制工艺的科学总结》，《考古学报》1973 年第 1 期。

[12] 曾凡：《关于德化窑的几个问题》，《中国古陶瓷论文集》，文物出版社，1982 年。

[13] 李家治等：《中国历代南北方著名白瓷》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[14] 陈尧成等：《玉溪、建水窑青花瓷器研究》，《中国陶瓷》1989 年第 6 期。

[15] 见本书第一章第三节。

[16] 中国硅酸盐学会编：《中国陶瓷史》，文物出版社，1982 年。辽代碾子见第 317 页、第 318 页；明代脱胎器见第 387 页；明代青料见第 377 页。

[17] 明黄一正：《事物绀珠》卷二二“器用·今窑器类”：“窑器，方为难，今制为盛。”见《四库全书存目丛书》子 200 册，齐鲁书社，1995 年。

[18] 李家治:《景德镇永乐白瓷的研究》,《景德镇陶瓷学院学报》第12卷第1期,1991年6月。

[19] 江西省陶瓷研究所:《景德镇陶瓷史稿》第112页、115页,三联书店,1959年。祝寿兹:《中国古代工业史》第706页,学林出版社,1988年。

[20] 陈尧成等:《历代青花瓷和着色青料》,《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科学技术出版社,1985年。

[21] 陈尧成等:《历代青花瓷器和青花色料的研究》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982年。

[22] 周仁等:《景德镇瓷器的研究·钴土矿的拣炼和青花色料的配制》,科学出版社,1958年。

[23] 南京博物院:《南京明故宫出土洪武时期瓷器》,《文物》1976年第8期。

[24] 河北保定曾发现过元代的釉下青花与釉下铜红彩相结合的青花釉里红器,见《文物》1965年第2期,但这工艺在明代很少使用。

[25] 中国硅酸盐学会编:《中国陶瓷史》第370页、390页,文物出版社,1982年。

[26] 余家栋:《明代中晚期景德镇瓷器演进特征试析》,《东南文化》1994年增刊1。

[27] 张福康等:《我国古代釉上彩的研究》,《硅酸盐学报》1980年第4期。

[28] 张福康等:《中国历代低温色釉和釉上彩的研究》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982年。

[29] 张福康:《中国传统低温色釉和釉上彩》,《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科学技术出版社,1985年。

[30] 周世荣:《长沙古瓷窑的彩釉绘装饰》,《考古》1990年第6期。

[31] 吕成龙:《论明代官窑高温铜红釉瓷器》,《文物研究》总第10辑,1995年。

[32] 叶喆民:《中国古陶瓷浅说》第78页,轻工业出版社,1982年。

[33] 李兵等:《浅谈对河南钧瓷与后起之秀铜红釉的见解》,《中国陶瓷》1990年第5期。

[34] 郭演仪:《古代景德镇瓷器胎釉》,《中国陶瓷》1993年第1期。

[35] 张福康等:《中国历代低温色釉的研究》,《硅酸盐学报》1980年第1期。

[36] 曾凡:《关于德化屈斗宫窑的几个问题》,《文物》1979年第5期。

[37] 中国硅酸盐学会编:《中国陶瓷史》第394~412页,文物出版社,1982年。李锡经等译:《陶瓷之路》,文物出版社,1984年。[日] 三上次男原著,岩波书店,1972年。

[38] 宋伯胤:《谈德化窑》,《文物参考资料》1955年第4期。

[39] 德化古瓷窑址考古发掘工作队:《福建德化屈斗宫窑址发掘简报》,《文物》1979年第5期。

[40] 刘振群:《窑炉的改进和我国古陶瓷发展的关系》,《中国古陶瓷论文集》,文物出版社,1982年。

[41] 南京博物院:《明代南京聚宝山琉璃窑》,《文物》1960年第2期。

[42] 刘新园等:《景德镇湖田窑考察纪要》,《文物》1980年第11期。

[43] 北京大学考古文博学院等:《江西景德镇市明清御窑遗址2004年的发掘》,《考古》2005年第7期。

[44] 王上海:《从景德镇制瓷工艺的发展谈葫芦形窑的演变》,《文物》2007年第3期。

## 第四节 棉织技术的全面推广和丝织技术之继续发展

[1]《明太祖实录》卷一五。

[2]《明史》卷七八“食货志二·赋役”。

[3] 张履祥:《杨园先生集》卷四三“近古录”。

[4] 张瀚:《松窗梦语》卷四。

[5] 顾炎武:《天下郡国利病书》原编第六册“苏松”引《嘉定县志》。

[6] 黄赞雄:《明代的丝绸业》,《丝绸史研究》1989年第1期。

[7] 明徐光启:《农政全书》卷三五“蚕桑广类·木棉”第714页,中华书局,1956年版。中国农业遗产研究室校。

[8]《农政全书校注》第976页,明徐光启撰,今人石声汉校注,上海古籍出版社,1979年。

[9] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史(古代部分)》第153页,科学出版社,1984年。

[10] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第152页,科学出版社,2002年。

[11] 石声汉:《农政全书校注》第961页,上海古籍出版社,1979年。

[12] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史(古代部分)》第151页,科学出版社,1984年。

[13] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第149页、151页,科学出版社,2002年。

[14] 于绍杰:《中国植棉史考证》,《中国农史》1993年第2期。

[15] 林忠干等:《福建古代纺织史略》,《丝绸史研究》1986年第1期。

[16] 明王世懋:《闽部疏》,见《续修四库全书》734(“史部·地理类”),上海古籍出版社,2002年。清陈元龙:《格致镜原》(第二十五册)卷六四“草本木棉”条所引大体相同,见文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第335碟。

[17] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史(古代部分)》第148页,科学出版社,1984年。

[18] 汪子春:《〈天工开物〉所记载的养蚕技术探讨》,《科技史文集》第3辑,上海科学技术出版社,1980年。

[19] 蒋猷龙:《宋应星在总结蚕业科技上的贡献》,《〈天工开物〉研究》(纪念宋应星诞辰400周年文集),中国科学技术出版社,1988年。

[20] 明末方以智:《物理小识》卷六“丝绵”条:“结茧时炭火烘曰出口干。丝登车,火照之曰出水干,是为上茧缫耳。”

[21] 其例见明徐光启:《农政全书》卷三五“蚕桑广类·木棉”,文渊阁《钦定四库全书》抄本第二十三册,武汉大学出版社电子版第304碟。

[22] 明徐光启《农政全书》卷三一“蚕桑·养蚕法”在引述了《士农必用》关于缫丝的技术后,徐光启又作了一段小注。文渊阁《钦定四库全书》抄本第二十一册,武汉大学出版社电子版第304碟。

[23] 王祯:《农书》卷二一“纩絮门·木棉纺车”。

[24] 陈维稷主编:《中国纺织科学技术史(古代部分)》第182页,科学出版社,1984年。

[25] 清嘉庆《松江府志》,《续修四库全书》“史部·地理类”第687册,上海古籍出版社,2002年。

[26] 引自《钦定古今图书集成·考工典·织工部纪事》。

[27] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第365页,科学出版社,2002年。

[28] 金文:《〈天工开物〉中的提花织机》,《丝绸史研究》1987年1、2合期。

[29] 赵承泽主编:《中国科学技术史·纺织卷》第195~202页,科学出版社,2002年。

[30] 区秋明、黄赞雄:《明代丝绸科技发展初探》,《中国丝绸史学术讨论会论文汇编》,浙江丝绸工学院丝绸史研究室编,1984年。

[31] 王秀玲:《定陵出土的丝织品》,《江汉考古》2001年第2期。

[32]《天水冰山录》,王云五《丛书集成初编》1502~1504,商务印书馆。作者不详。

[33] 赵承泽主编：《中国科学技术史·纺织卷》第358页，科学出版社，2002年。关于定陵双面绒的经纬密度，各家测量的数据略有出入。

[34] 徐仲杰：《南京云锦史》第50～51页，江苏科学技术出版社，1986年。

[35] 赵承泽主编：《中国科学技术史·纺织卷》第366～367页，科学出版社，2002年。

[36] 黄能馥：《中国美术全集·工艺美术编7·印染织绣下》，文物出版社，1986年。

[37] 赵承泽、张琼：《改机及其相关问题探讨》，《故宫博物院院刊》2001年第2期。

[38]《天水冰山录》，王云五《丛书集成初编》1503，商务印书馆。作者不详。

[39] 山东省博物馆：《发掘明朱檀墓纪实》，《文物》1972年第5期。

[40] 陈娟娟：《介绍几件优秀的明清织锦》，《文物》1973年第11期。

[41] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第247页，科学出版社，1984年。

[42] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第251～252页，科学出版社，1984年。

[43] 赵丰：《〈天工开物〉"彰施"篇中的染料和染色》，《农业考古》1987年第1期。

[44] 明刘基：《多能鄙事》卷四，上海荣华书局版，民国六年。并《续修四库全书》1185。

[45] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第266页，科学出版社，1984年。

[46] 罗瑞林：《关于印金云龙纹包袱皮印染工艺的分析》，《中国丝绸史学术讨论会论文汇编》，浙江丝绸工学院丝绸史研究室编，1984年。

### 第五节　机械技术的全面发展

[1] 明童冀：《尚絅斋集》卷三"南行集·水车行"（第三册），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第418碟。

[2] 刘仙洲：《中国机械工程发明史》第59页，科学出版社，1962年。

[3] 张国敬等：《凌家滩玉器微痕迹的显微观察与研究——中国砣的发现》，《东南文化》2002年第5期。

[4] 陆敬严、华觉明主编：《中国科学技术史·机械卷》第76页，科学出版社，2000年。

[5] 明谈迁：《枣林杂俎》，《续修四库全书》1135，上海古籍出版社。

[6] 刘仙洲：《中国在计时器方面的发明》，《清华大学学报》第3卷第2期，1957年。

[7] 刘仙洲：《中国机械工程发明史》第115页，科学出版社，1962年。

[8] 陆敬严、华觉明主编：《中国科学技术史·机械卷》第93页，科学出版社，2000年。

[9] 潘升材等：《仙游糖车考》，《古今农业》1993年第2期。

[10]《明会要》卷六二"兵五·战船"。

[11]《明成祖实录》卷三五。

[12]《明会要》卷五六"食货四·漕运"。《明史》卷一三五"陈暄传"："议造浅船二千余艘，初运二百万石，寝至五百万石，国用以饶。"

[13] 周世德：《雕虫集·中国古代造船工程技术成就》，地震出版社，1994年。

[14] 席龙飞：《中国造船史》第246～249页，湖北教育出版社，2000年。

[15] 周世德：《雕虫集·中国沙船考略》，地震出版社，1994年。

[16] 明谈迁：《国榷》第一册第953页，（北京）古籍出版社，1958年。

[17] 矩斋：《古尺考》，《文物参考资料》1957年第3期。

[18] 何堂坤：《平木用刨考》，《文物》1996年第7期。

[19] 马晋封：《苏汉臣货郎图》，《故宫文物月刊》第1卷第11期，1984年，台湾。

## 第六节　造纸技术的发展


[1] 明王宗沐、陆万垓:《江西大志》卷八，明万历二十五年刊。今采自雍正十年《江西通志》(第二十四册) 卷二七 "土产·广信府"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第228碟。

[2] 明屠隆:《考槃余事》,《丛书集成初编》1559。

[3] 明文震亨:《长物志》(第二册) 卷七，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[4] 明王世懋:《闽部疏》,《续修四库全书》(史部·地理类) 734，上海古籍出版社，2002年。

[5] 明陆容:《菽园杂记》(第四册) 卷一三，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第336碟。

[6] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第248页，科学出版社，1998年。

[7] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。

[8] 陈大川:《中国造纸技术盛衰史》第241页，中外出版社，台湾，1979年。

[9] 明包汝楫:《南中纪闻》，见《丛书集成初编》3114。

[10] 明刘若愚:《酌中志》卷一六，见《四库毁禁书丛刊》史部71－158、159，北京出版社，1998年。

[11] 沈德符:《飞凫语略》,《丛书集成初编》1559，商务印书馆，1937年。

[12] 清查慎行:《人海记》,《续修四库全书》1177－228，上海古籍出版社，2002年。

[13] 查悔余诗，转引自《骨董琐记》卷四第19页。民国丛书第五编第84册。上海书店。

[14] 明高濂:《遵生八笺》(第十四册) 卷一五 "燕闲清赏笺中"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[15] 清沈初:《西清笔记》,《笔记小说大观》第二十四册，江苏广陵古籍刻印社，1983年。

[16] 明宋诩:《竹屿山房杂部·燕间部·文房事宜·纸》，第三册卷七第4页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。


## 第七节　印刷技术的发展


[1] 张秀民:《明代南京的印书》,《张秀明印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988年。

[2] 郑如斯:《国子监刻书略述》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[3] 张秀民:《明代北京的刻书》,《张秀明印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988年。

[4] 潘吉星:《论藏文〈大藏经〉的刊刻》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[5] 张秀民:《中国印刷史》第402～445页，上海人民出版社，1989年。

[6] 张秀民:《明代印书最多的建宁书坊》,《张秀明印刷史论文集》，印刷工业出版社，1988年。

[7] 明宋应星:《天工开物》"序"。

[8] 清蔡澄:《鸡窗丛话》,《丛书集成续编》90－1005，上海书店，1994年。

[9] 罗树宝:《中国古代印刷字体的发展》,《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[10]《明史》卷八一 "食货五·钱钞"。

［11］明胡应麟：《少室山房笔丛》卷四；见《丛书集成续编》172－271，上海书店，1994年；或见文渊阁《钦定四库全书》抄本第二册，武汉大学出版社电子版第319碟。

［12］《书林清话》卷八第14页，《民国丛书》第二编第50册，上海书店，1990年，据宣统辛亥年观古堂刻本影印。书前有叶德辉宣统辛亥年自述。

［13］潘吉星：《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第429～430页，科学出版社，1998年。

［14］《中国版刻图录》，文物出版社，1961年。

［15］罗树宝：《中国古代印刷史》第364页，印刷工业出版社，1993年。

［16］潘吉星：《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第431页，科学出版社，1998年。

［17］方晓阳：《饾版印刷术之研究》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

［18］张秀民：《中国印刷史》第451页，上海人民出版社，1989年。

［19］蠡蠕生（向达）：《记十笔斋》，《图书季刊》第二卷第一期，1935年。

［20］杨绳信：《中国版刻综录》第529～530页，陕西人民出版社，1987年。

［21］张秀民、韩琦：《中国活字印刷史》第28页，中国书籍出版社，1989年。

［22］潘吉星：《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第413页，科学出版社，1998年。

［23］北京图书馆（赵万里等）编：《中国刻版图录》，第一册第101页，文物出版社，1961年。

［24］杨绳信：《中国版刻综录》第515～516页，陕西人民出版社，1987年。

［25］张秀民、韩琦：《中国活字印刷史》第46页，中国书籍出版社，1989年。

［26］明邵宝：《容春堂集》“后集”（第十二册）卷七（第40～41页）“会通君传”。文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第421碟。

［27］明华燧：《〈宋诸臣奏议〉序》，载《宋诸臣奏议》卷一书首，无锡会通馆铜活字印本，弘治三年。转引自文献［13］，第416页。

［28］张秀民、韩琦：《中国活字印刷史》第32～40页，中国书籍出版社，1989年。安璇《安氏家乘拾遗》（康熙本，上海图书馆藏）载，安国计七子，老七出嗣于人，未得遗产；其余六人中，三位嫡子共得六份，三位庶子共得四份，其铜字也如此四六分成，如是，残缺失次，无所用矣（转引自文献［21］第39页）。

［29］潘吉星：《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第415页，科学出版社，1998年。

［30］杨绳信：《中国版刻综录》第527页，陕西人民出版社，1987年。

［31］张秀民：《中国印刷史》第691页，上海人民出版社，1989年。

［32］尤丹立：《明代无锡安国铜活字是浇铸而成》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

［33］李致忠：《中国古代书籍史》第76页，文物出版社，1985年。

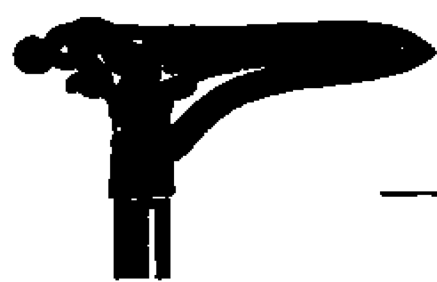
［34］张秀民：《中国活字印刷简史》，《活字印刷源流》（中国印刷史料选辑）第29页，印刷工业出版社，1990年。

［35］何堂坤：《中国古代铜镜的技术研究》，中国科学技术出版社，1992年；紫禁城出版社1999年再版。

［36］李奎报：《代晋阳公崔怡新序详定礼文跋》，《东国李相国后集》卷一一，载《朝鲜群书大系》“续集”，汉城，朝鲜古书刊行会，1913年。关于朝鲜铸造金属活字的具体时间，张秀民认为是1234年，潘吉星认为是1242年前后。转引自文献［13］第511页。

［37］李奎景：《铸字印书辨证说》，《五洲长笺衍文散稿》卷二四，上册，第699页，汉城，明文堂景印本，1982年。转引自文献［13］第511页。

［38］成伣：《慵斋丛话》卷七，《朝鲜群书大系正集·大东野乘》第一册，汉城，朝鲜古





书刊行会，1909年。

[39]《钦定武英殿聚珍版程序》第2页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第244碟。

[40] 明宋应星：《天工开物》卷一六“丹青·墨”。

[41] 山东省博物馆：《发掘明朱檀墓纪实》，《文物》1972年第5期。

[42] 明沈继孙：《墨法集要》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第315碟。

[43] 明宋诩：《竹屿山房杂部·燕间部·文房事宜·墨》（第三册卷七），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[44] 明沈继孙：《墨法集要》“水盆”、“油盏”、“烟碗”三条，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第315碟。

[45] 明沈继孙：《墨法集要》“烧烟”条，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第315碟。

[46] 明方瑞生：《墨海书》，民国十六年陶湘涉园影印明刻本。

[47] 杨慎：《升庵外集》卷一九“用器·文具”，桂湖藏版，道光甲辰版重刻。

### 第八节　火药火器技术的空前发展

[1] 吴晗：《朝鲜李朝实录中的中国史料》（一）第34～35页，中华书局，1980年。

[2] 唐顺之：《武编》“前集”（第五册）卷五“火”（第62～64页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[3] 明戚继光：《纪效新书》（第五册）卷一五“布城诸器图说篇”（第18页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第304碟。

[4] 何汝宾：《兵录》，见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（五），河南教育出版社。

[5] 赵士桢：《神器谱》，见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（五），河南教育出版社。

[6] 茅元仪：《武备志》卷一一九，《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（五），河南教育出版社。

[7]《火龙经》，原题汉武侯著，明刘基、焦玉同校，永乐十年出版。见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（五），河南教育出版社。

对此书年代作过评述的今世学者有：冯家昇：《伊斯兰教国为火药由中国传入欧洲的桥梁》，《史学集刊》1949年第6期；马成甫：《火炮の起源とその傳流》，東京，吉弘文舘，1962年；刘仙洲：《我国古代慢炮、地雷和水雷自动发火装置的发明》，《文物》1973年第11期；潘吉星：《中国火箭技术史稿》，科学出版社，1987年；成东：《焦玉的真实身分和他的〈火攻书〉》，《中国科技史料》1984第1期；钟少异：《关于焦玉火攻书的年代》，《自然科学史研究》1999年第2期；李斌：《〈火龙经〉考辨》，《中国历史文物》2002年第2期。

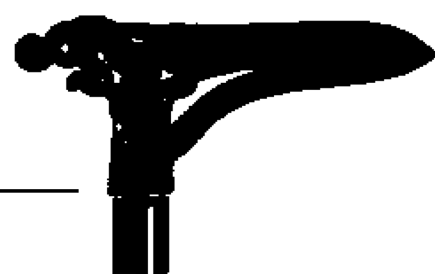
[8] 明宋应星：《天工开物》卷一五“佳兵·消石”。

[9] 王兆春：《中国科学技术史·军事技术卷》第263～266页、158～164页、221～224页，科学出版社，1998年。

[10] 成东：《碗口铳小考》，《文物》1991年第1期。

[11] 成东：《关于中国古代火炮发明问题的新探讨》，《中国科学技术史国际学术讨论会论文集》，中国科学技术出版社，1992年。成东：《中国古代火炮发明问题的新探讨》，《中国古代火药火器史研究》，中国社会科学出版社，1995年。

[12] 王荣：《元明火铳的装置复原》，《文物》1962年第3期。洪武五年“韩”字铳长



36.5 厘米、铳口径 11 厘米，重 15.75 千克。口沿下铭文为一“韩”字，中部铭为“水军左卫，进字四十二号，大碗口筒，重二十六斤，洪武五年十二月吉日，宝源局造”等字。可见这是把碗口状火器称之为“筒”的。

［13］河北省博物馆：《河北出土文物选集》第 232 页，文物出版社，1980 年。

［14］项春松：《内蒙古赤峰市大明镇发现明初铜铳》，《考古》1990 年第 8 期。1975 年赤峰计发现明初碗口铳 2 门、手铳 12 门。碗口铳中，一门有纪年铭，全长 31.7 厘米，口径 13.4 厘米，重 9 千克，铭文：“神策卫神字柒拾伍号次碗口筒重壹拾捌斤，洪武五年八月吉日宝源局造。”另一门无铭，长 37 厘米，口径 12.2 厘米。手铳中，3 门有纪年（2 件为“洪武十年”，1 件为“洪武十一年”），全长 42.7～44 厘米，口径 2～3.3 厘米；1 件有铭无纪年，长 31 厘米，口径 4 厘米。

［15］袁晓春：《山东蓬莱出土明初碗口炮》，《文物》1991 年第 1 期。两炮形制相似，炮口略呈大碗口状，碗口径 26 厘米，碗口以下内径 11 厘米。一门长 61 厘米，重 73 千克；另一门长 63 厘米，重 73.5 千克。两器之铭文皆名之为“砲”。

［16］刘善沂：《山东冠县发现明初铜铳》，《考古》1985 年第 10 期。1964 年出土，原有大中小 3 门，今只保存中型者，为碗口铳，其全长 36.4 厘米、碗口径 14.9 厘米、壁厚 1.5 厘米、筒径 11.5 厘米，重 15.5 千克。铭文中有“横海卫”“洪武十一年”等字。

［17］殷其昌：《赫章出土的明代铜炮》，《贵州社会科学》1982 年第 5 期。全长 31.8 厘米、口径 7.5 厘米，重 8.3 千克。铭文中有“永宁卫”“洪武十一年”等字。

［18］陈烈：《河北省宽城县出土的明代铜铳》，《考古》1986 年第 6 期。全长 52 厘米、口径 10.8 厘米，重 26.5 千克。

［19］明丘濬：《大学衍义补》（第五十一册）卷一二二（第十一页）“严武备·器械之利下”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 303 碟。

［20］赵新来：《在株洲鉴选出一件明代铜砲》，《文物》1965 年第 8 期。铭作“正德陆年拾月”等字。

［21］胡振祺：《明代铁炮》，《山西文物》1982 年第 1 期。

［22］史宝珍：《镇江出土的明代火器》，《文物》1986 年第 7 期。21 门铁炮完整，2 门残。完整者炮长 55～108.2 厘米，口径 3.5～7.0 厘米；残炮中，有一门口径达 10 厘米。

［23］王海航：《石家庄市发现明代大铁砲》，《文物参考资料》1957 年第 6 期，砲长 1.5 米，铭文中有“崇祯戊寅岁仲寅吉日捐助建造红夷大砲”等字。

［24］孙桂恩：《在废铜铁中发现明、清时代铜铁炮》，《文物参考资料》1957 年第 4 期。

［25］成东：《明代前期有铭火铳初探》，《文物》1988 年第 5 期。

［26］张萱：《西园闻见录》卷六九，《续修四库全书》1169－569。

［27］杨豪：《辽阳发现明代佛郎机铜铳》，《文物参考资料丛刊》（七），1983 年。永乐七年铳铭文为：“天字贰萬贰千伍拾捌號 \ 永乐柒年玖月 \ 日造”。

［28］刘志一：《内蒙古克什克腾旗出土明代铜铳》，《文物》1982 年第 7 期。外径 7.2 厘米、内径 5.2 厘米、长 44 厘米，铳体均厚 0.7 厘米。铭作“永乐拾叁年玖月”等字。

［29］王国荣：《赤城出土一批明窑藏火器》，《中国文物报》1991 年 9 月 1 日。1991 年赤城窖藏出土有铁五眼铳、直横铳、佛郎机母铳、铜盏口炮、铜火铳等火器计 32 件。克字中型铜铳长 44 厘米、内径 5.3 厘米，重 8.2 千克，有“永乐拾叁年”等字铭。

［30］转引自成东：《明代前期有铭火铳初探》，《文物》1988 年第 5 期。首都博物馆藏永乐拾叁年火铳：长 44 厘米、口径 5.2 厘米。

［31］师万林：《甘肃张掖发现明代铜铳》，《考古与文物》1986 年第 4 期。

［32］高凤山、张军武：《嘉峪关及明长城》第 39 页，文物出版社，1989 年。

[33] 矩斋:《古尺考》,《文物参考资料》1957年第3期。

[34]《筹海图编》(第十册)卷一三“佛郎机图说”。文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第235碟。说明:(1)关于此书作者,“四库提要”说是胡宗宪;今世有学者考证为郑若曾。(2)此书中引用过顾应祥、戚继光等人的话。

[35] 郭永芳、林文照:《明清间西方火枪传入中国历史考》,《亚洲文明》(黄盛章主编),四川人民出版社,1986年。

[36]《续文献通考》(第八十一册)卷一三四(第30页)“兵制十四·军器”。文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第240碟。

[37] 明谈迁:《国榷》卷五三。(北京)古籍出版社,1958年。嘉靖三年四月,“丁巳,南京仿造佛郎机铜铳”。

[38] 明戚继光:《练兵实纪杂集》卷五,《中国科学技术典籍通汇·技术卷》(五),河南教育出版社,1994年。

[39] 清牛应之:《雨窗消意录》卷三,《笔记小说大观》第25册,第297页,江苏广陵古籍出版社,1983年。

[40] 成东:《明代后期有铭火炮概述》,《文物》1993年第4期。

[41] 周铮:《天启二年红夷铁炮》,《中国历史博物馆馆刊》第5期,1983年。

[42] H. S. Zim: Rockets and Jets, pp. 31~32 (New York: Harcourt Brace and Co., 1945)。

[43] 潘吉星:《中国火箭技术史稿》,科学出版社,1987年。关于万虎飞行试验的资料,1962年时张子高曾经引用(见《中国机械工程发明史》,科学出版社,1962年);1987年潘吉星再次引用时,重新作了翻译(见文献[43]第72页)。

[44] 清张英、王士祯等:《御定渊鉴类函》(第一四四册)卷二一三(第七页)“火攻·制地雷”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第330碟。

### 第九节　髹漆技术的大发展

[1] 王焕镳:《首都志》卷三,《民国丛书》5-76,上海书店,1996年。关于《读史方舆纪要》所记“立三园诸事”,多次查找而未果。待查。

[2] 明高濂:《遵生八笺》(第十三册)卷一四(第73~74页)“燕闲清赏笺上·论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”,文渊阁《钦定四库全书》抄本,武汉大学出版社电子版第318碟。

[3]《髹饰录解说》,文物出版社,1983年。此书为明庆隆间黄成原著,明天启间杨明注,今人王世襄解说。今参考第23页第3~4段,王世襄考证。

[4] 清高士奇:《金鳌退食笔记》卷下:“棂星门在金鳌玉蛛桥西……果园厂在棂星门之西。”《丛书集成初编》3213-27。

[5] 山东省博物馆:《发掘明朱檀墓纪实》,《文物》1972年第5期。杨伯达:《明朱檀墓出土漆器补记》,《文物》1980年6期。

[6] 杨伯达:《明朱檀墓出土漆器补记》,《文物》1980年第6期。戗金使用的工具有3种说法,即勾刀,故宫博物院修复室;剞劂刀,《髹饰录》“利用”第一;针,《辍耕录》卷三〇。

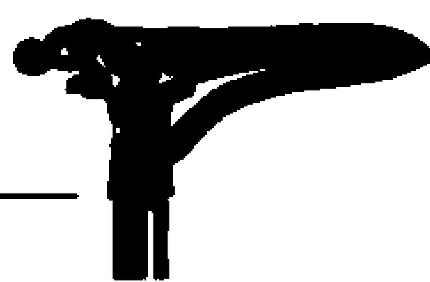
[7] 中国美术全集编辑委员会:《中国美术全集》“工艺美术编8·漆器”,文物出版社,1989年。

[8] 史树青:《漆林识小录》,《文物参考资料》1957年第7期。

[9]《髹饰录解说》,文物出版社,1983年。杨明注,第163页。

[10]《髹饰录解说》,文物出版社,1983年。杨明注,第170页。

[11]《髹饰录解说》,文物出版社,1983年。第94页。





[12]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 43 页。

[13]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 165 页。

[14]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 126 页。

[15]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。杨明注，并王世襄解说，第 126 ~ 127 页。

[16]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。杨明注，第 129 页。

[17]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 129 页。

[18] 朱家溍：《元明雕漆概说》，《故宫博物院院刊》1983 年第 1 期。

[19]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。黄成原文，杨明注，皆见第 101 页。杨明注并见“利用”第一“河出”条，第 49 页。

[20] 转引自《髹饰录解说》第 105 页，文物出版社，1983 年。

[21]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 103 页。

[22]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，“衬色甸嵌”见第 105 页，“镌甸”见第 134 页。

[23]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。王世襄解说，第 134 页。

[24] 石志廉：《明江千里款嵌螺黑漆执壶和明紫檀雕十八学士长方盒》，《文物》1982 年第 4 期。

[25]《髹饰录解说》，文物出版社，1983 年。见杨明“序”，并朱启钤“序”、王世襄“前言”。

[26]《周礼注疏》卷二七（第十七册第 14 ~ 15 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 109 碟。

## 第十节　玻璃技术的发展

[1] 明末清初孙廷铨：《颜山杂记》第一册卷二第 11 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 236 碟。

[2] 明末清初孙廷铨：《颜山杂记》第一册卷一第 27 页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 236 碟。

[3] 明方以智：《物理小识》（第五册）卷七，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 317 碟。

[4] 淄博市博物馆：《淄博元末明初玻璃作坊遗址》，《考古》1985 年第 6 期。

[5] 易家良等：《十四世纪中国博山的琉璃工艺》，《中国古玻璃研究（1984 年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986 年。

[6] 建筑材料研究院等：《中国早期玻璃器检验报告》，《考古学报》1984 年第 4 期。

[7] 美国康宁玻璃公司 R. H. Brill 等：《一批早期中国玻璃的化学分析》，《中国古玻璃研究（1984 年北京国际玻璃学术讨论会论文集）》，中国建筑工业出版社，1986 年。

[8] 明刘基：《多能鄙事》卷五，见《续修四库全书》1185 册。

[9] 谢惠：《山东博山玻璃工业概况》，《交大季刊》13 期，1934 年。

[10] 明初曹昭：《格古要论》卷中，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 318 碟。

[11] 元陶宗仪：《辍耕录》卷二一，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 336 碟。

[12] 明周履靖：《夷门广牍》关于“玻瓈”的记载，今引自清陈元龙《格致镜原》（第十四册）卷三三“珍宝类二·玻瓈”（第 18 页），文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟。在“四库”本的《格致镜原》中，标题作“瓈”字，《夷门广牍》正文作“黎”字。

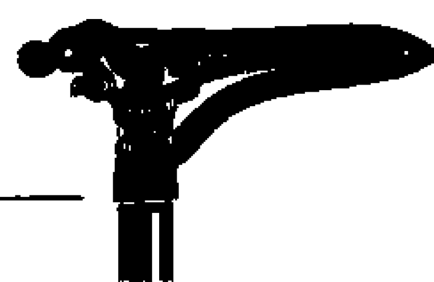
# 第九章

## 清代早中期手工业技术的缓慢发展

1644年，吴三桂引满人入关，满清贵族入主中原，到1840年鸦片战争，一般归为清代早、中期；由1840至1911年辛亥革命，史称清代晚期①。早、中期经历了顺治、康熙、雍正、乾隆、嘉庆、道光六朝皇帝；康、雍、乾三朝为清之盛世，嘉、道始衰。

清（1644～1911年）王朝是在民族压迫和阶级压迫的基础上建立起来的。满族原是我国东北地区的一个少数民族，先秦称肃慎；唐时正式成为臣属于中原王朝的地方政权；五代时改称女真，之后建立了金朝；明政府曾对其采取过“分而治之”的策略。满清统治者入主中原后，对广大人民群众的反清斗争实行残酷镇压，社会生产遭到极大破坏，尤其是已经较为繁荣的江南，更遭空前洗劫。如松江，几经屠杀，“满目伤痍，积棘载道”[1]。如震泽，“兵燹之祸，市里为墟”[2]。数百年来繁荣富庶的苏州，则是“六门闭，留于城中者死无算；道路践死者相枕藉”。清兵“由盘门屠至饮马桥”[3]。扬州十日，被杀数十万人；嘉定三屠，城内外死者两万余人。满清贵族又在相当长一个时期内大兴文字狱，使文化事业受到很大摧残。后来，清统治者为了自身的利益，才采取了两项较为重要的变更措施：一是对人民群众做出了某些让步，如康熙朝废除“圈地”制度，实行蠲租免税政策等；二是注意总结明朝灭亡的教训，革除明代末年阉党专横、朋党祸国、狂征暴敛等种种弊政，从而使社会逐渐安定下来，经济和文化也得到一定的发展。在手工业、农业中都出现过许多商品性经营，商业异常活跃，国力也强盛起来；收复了台湾，平定了噶尔丹叛乱，加强了对西藏的统治；同时还有效地阻止了西方早期殖民主义者的入侵。清代疆域，西达葱岭，北接俄国西伯利亚，达外兴安岭，南到南沙群岛，实现了历代王朝从未有过的，在更为辽阔地域内的有效统一。清代早、中期的学术思想也较活跃，且整理、出版过不少大型文化典籍；早在明代晚期，西方先进的科学思想便开始传入中国。清初之时，全国人口总数约1亿多，18世纪中叶达2亿多，19世纪中叶突破4亿。此时资本主义已在西方兴起，其魔爪伸向全世界，而中国依然停留在腐朽的封建制度下，清代晚期，陷入积贫积弱、备受欺凌的境地。

① 学术界对清代的分期法，习见有“两期”和“三期”说。“两期”即：前期，1644～1840年；后期，1840～1911年。三期即早、中、晚期，此晚期亦是1840～1911年。不管两期还是三期，都不是纯时间上的划分，而是都兼顾到了当时的政治经济形态。因两期说在时间上相差稍大，今采用三期说。





此期的传统手工业技术发展不甚平衡，有的行业并无太多建树，唯操作技术发展到相当娴熟的阶段。但有的行业，如盐卤和天然气开采技术、制瓷技术、印刷技术等，却获得了不少新成就，并在历史上留下了深刻的记忆。

## 第一节 采矿技术

与历代统治者同样，清初对矿业也存有戒心。《清史稿》卷一二四“食货·矿政”载：“清初鉴于明代竞言矿利，中使四出，暴政病民。于是听民采取，输税于官，皆有常率；若有碍禁山、风水、民田庐墓，及聚众扰民，或岁歉谷踊，辄用封禁。世祖初，开山东临朐、招远银矿，八年罢之。十四年开古北、喜峰等口铁矿。康熙间遣官监采山西应州、陕西临潼、山东莱阳银矿，二十二年悉行停止，并谕：开矿无益地方，嗣后有请开者，均不准行。”这大体上反映了清初一个时期的矿业政策。但之后便逐渐发生了变化。总体上看，清代矿业较明代还是有了进一步发展，尤其是盐卤和天然气，在开采技术和认识能力上都有了较大提高，并达到了世界领先水平。

### 一、采铜技术

此期采铜业较为发达的地方是云南，清檀萃《滇海虞衡志》（1799 年成书）、王崧《矿厂采炼篇》、吴其濬（1789～1847 年）《滇南矿厂图略》等都有较为详明的记载，对矿藏的认识以及开凿、通风、照明、排水技术等都有描述。

清代铜矿也有露天采和地下采两种。开采前皆须先选矿脉。“丱有引线，亦曰丱苗，亦曰丱脉；其为藏否，老于厂（矿？）者能辨之。”[4]

露天开采。《滇海虞衡志》卷二引《农部琐录》载：“凡矿之为物善变，忽有忽无为跳矿，小积为窝，为鸡窠矿，入不深为草皮矿。”[5]此述几种当为风化残留的、露天开采的小矿。“鸡窝矿”等名①，至今仍在沿用。

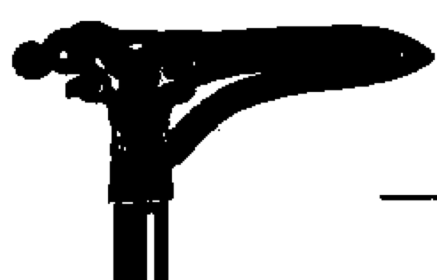
地下开采。“选山而劈凿之，谓之打礌子，亦曰打硐②，略如采煤之法。礌洞口不宽广，必伛偻而入。虑其崩摧，搘挂以木，名曰架镶，闲二尺余，支四木，曰一箱。硐之远近，以箱计。”[4]这里谈到了开凿井巷和地下支护的方法。较此稍早的《张君杂记》也有类似说法，且云“上有石则无虑，厢亦不设”[5]。即顶板有石时，可不设井架。我国采矿技术中的地下支护至迟发明于商，但在清代之前，有关记载很少看到。

矿洞形态有“直攻、横攻、仰攻，各因其势，依线攻入。一人掘土凿石，数人负而出之。用锤者曰锤手，用錾者曰錾手，负土石曰背塃，统名砂丁。土内有豆大丱子，曰肥塃，检出尚可煎炼”[4]。此“线”当指矿脉。

“硐内虽白昼，非灯火不能明路。直则鱼贯而行，谓之平推。一往一来者，侧身相让。由下而上，谓之钻天，后人之顶接前人之踵。由上而下，谓之吊井，后

① 严中平《清代云南铜政考》也有类似说法：“凡铲草掘地入深数尺，便获矿砂一片的，叫做草皮矿，又叫鸡爪矿。其易采如草皮而矿砂成窠，每穴不过数升数合的，叫做鸡窝矿。”

② 《滇海虞衡志》卷二“志金石”：“《农部琐录》云：厂民多忌讳，石谓之硖，土谓之荒，好谓之彻……硐谓之礌。”





人之踵接前人之顶。作阶级以便陟降，谓之猓夷楼梯。两人不能并肩，一身之外，尽属土石……释氏所称地狱，谅不过是。"[4]此谈到了照明的重要性和井下工作的一些情况，此亦有助于我们对前云孙廷铨《颜山杂记》卷四所述采煤法的了解。

我国传统的井巷支护法，约有自然支护、留柱支护、木架支护、充填支护4种，直到清代仍在使用，且记载更为明确。今仅介绍一下木架支护，因其不但使用较广，而且更能反映人们的智慧。这里有两段资料，所说皆为木架支护：

田雯《黔书》卷四"朱砂"条在谈到矿井时说："尾之掘地而下曰井……皆必支木幂版以为厢，而后可障土。"[6]此述为朱砂矿木架支护。

张泓《滇南新语》"象羊厂"在谈到铜等矿井时说："虑内陷，支以木。间二尺余，支木四，曰一厢，洞之远近以厢计；上有石，则无虑，厢亦不设。"[7]此云为铜矿木架支护，可见它是较为讲究的，文中还使用了"架镶"等术语。

关于照明。所用工具为矿灯，俗名"曰亮子，以铁为之，如灯盏碟而大，可盛油半斤；其柄长五六寸，柄有钩。另有铁棍长尺，末为眼，以受盏。钩上仍有钩，可挂于套头上"[8]。"以巾束首，曰套头，挂灯于其上"[4]。"棉花搓条为捻。计每丁四五人，用亮子一照"[8]。此对井下照明描述得十分明白，以往也是不曾多见的。

关于通风。《滇南矿厂图略·滇矿图略上·硐之器第三》载：鼓风器"曰风柜，形如仓中风米之箱后半截，硐中窝路深远，风不透入，则火不能燃，难以施力。或晴久则太燥，雨久则湿蒸，皆足致此，谓之闷亮，设此可以救急，仍须另开通风"[3]。此处强调人为送风，以及气压对井内通风的影响。此鼓风器不叫风箱，而叫"风柜"，形同仓中风米箱之后半截。

王崧《矿厂采炼篇》还谈到两种通风方式，即自然通风和风箱扇风："硐中气候极热，群裸而入，入深苦闷，掘风洞以疏之，作风箱以扇之"[4]。

我国古代矿井亦有自然通风和人工通风两种。人工构筑的自然通风系统至迟始见于北魏时期，及至明、清，有关记载更为明确，前引《颜山杂记》说："凿井必两，行隧必双，令气交通，以达阴阳"。《农部琐录》也有类似说法："裸而入深苦闷，凿风硐以疏之。"这都谈到了人工开凿的自然通风系统。结合清吴其濬《滇南矿厂图略》和王崧《矿厂采炼篇》的记载来看，人工凿洞通风，人为鼓风，已是世人熟知了的工艺。后者的发明年代亦应远在清代之前。

关于排水。"掘深出泉，穿水窦以泄之……水太多，制水车推送而出，谓之拉龙。拉龙之人，身无寸缕，蹲泥淖中如涂附，望之似土偶而能运动。"[4]

关于火爆法的使用。《滇海虞衡志》卷二"志金石"引《农部琐录》云："礌坚谓之硖硬，以火烧硖，谓之放爆火。"显然，此说到了火爆法。

总的来看，清代金属矿开采技术虽无创造性成就，但许多记载，如井壁防护、人工送风、井下照明等都较为详明，此前都是很少看到的。

## 二、采煤技术

### （一）采煤技术

前云孙廷铨《颜山杂记》本为明末清初著作，其采煤技术也应大体反映了明末清初及至稍前我国采煤技术的发展水平。



清代煤井深度与明代大抵一致。康熙（山东）《颜神镇志·物产》条载："煤则凿石为井，有至二三百尺深者，炼而为焦，以供诸冶之用。"乾隆（陕西）《白水县志》卷一"物产"条载："煤炭，凿井深三四百尺取之，足供炊爨，兼资贩易。"乾隆十三年（河北）《丰润县志》卷六"杂记"："丰（润）人呼碟为水火（和）炭，唐山及陡河等处产之，不于山而于近山之地，穴土三四十丈，不得，则另易一处。"咸丰（陕西）《澄城县志》卷五"土产"条："爨资石炭，有块炭、碎炭，井深三百尺，在治西三十里洛河岸谷中。"此四条文献，说了四种凿井深度，即"二三百尺"、"三四百尺"、"三四十丈"、"三百尺"，深度都是不小的。

（二）对煤炭性能的认识又有提高

清代对煤的性态的观察较明代又进了一步，并出现了"有烟"、"无烟"之说。乾隆（山西）《赵城县志》卷六"物产"条载："石炭有数种：有夯炭，微烟；有肥炭，有烟；有煨炭，无烟……亦产山西。"嘉庆《山西通志》卷四七"物产"条载：石炭，"俗称煤炭，有夯炭，微烟；有肥炭，有烟，出平定者佳；有煨炭，无烟，出广昌、广灵者佳，精腻而细碎，埋炉中可日夜不灭"。此皆依"微烟"、"有烟"、"无烟"，将煤分成了三种类型，同时还提出了"肥炭"之说，与现代常用分类法已相当接近。这表明人们对煤中挥发物以及烧结性能又有了进一步的认识。咸丰（陕西）《澄城县志》卷五"土产"也有类似说法，但较为简单："爨资石炭，有块炭、碎炭……又有煨炭，质弱于石炭而无燄（焰），亦无烟"。"以糠然（燃）煨炭，昼夜常暖，可数月不灭。"

大约在明，或明代以前，人们就开始注意到了不同品种的煤在用途上的区别，及清，此认识又有了发展，主要表现在劣质煤的利用上。上引乾隆十三年（河北）《丰润县志》卷六"杂记"载："丰(润)人呼碟为水火(和)炭，唐山及陡河等处产之……较西山所出，材差下，臭弥甚，土人第用以烧窑耳。"将质地较差的煤用来烧窑，这一方面是充分利用了能源，另一方面也是人们对煤炭认识上的一个进步[9]。

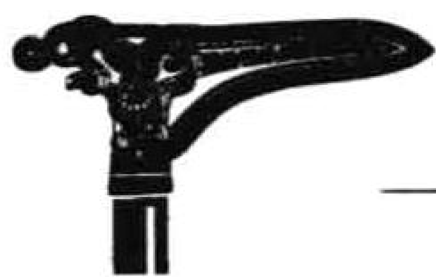
（三）对煤的成因有了较深认识

前云，大约在明代，人们对煤炭的成因便开始有了一些了解，及清，便明确地提出了煤炭系由树木转变而成的观点。

檀萃《滇海虞衡志》卷一一"志草木"载："楠木……各省皆有之，而滇出尤奇。盖滇多地震，地裂尽开，两旁之木，震而倒下，旋即复合如平地，林木、人居皆不见，阅千年化为煤。"

同书卷一二"杂志"亦有类似的说法："地震于云南最奇……滇南地震，往往裂成大壑，林木、民居皆没入之，震而复合遂成平地。尝过某处，前行三十里已上高山，忽地震，回顾所经之箐林木、民居尽失。予闻此言，因思滇煤多木，即劫灰之余所成。"

赵翼（1727～1814年）《簷曝杂记》卷四"河底古木灰"条亦有类似的说法："岁丙午（1786年），江南大旱，余乡河港皆赤裂百余日，居民多赴烟城濠中掘黑泥，和麸作饼……乡人以各河底皆有黑泥，亦掘之，至五六尺许，辄得泥如石炭者……以作薪火，乃终日不熄。其质非土非石。有大至数围，须用斧劈者，有碎叠成块缝，层层可揭者。细验之，则大者本巨木层叠者，则木叶所积，年久烂成块也……意必洪荒以来，两





岸本多树，随山刊木时，始伐而投之，历千年成此耳。”[10]

这些记载都说得十分明白，与现代技术原理也是基本相符的。当然，其中的“历千年”、“阅千年”，只表示十分的久远。

**三、盐卤开凿技术的杰出成就和小口深井的出现**

我国古代对盐卤的开采和利用，大体经历了四个不同的阶段：一是利用地表泉卤时期，至迟始于商，而止于周；二是大口浅井时期，至迟始于战国，止于北宋中期，代表是唐代陵井；三是小口井时期，始于北宋中期，代表是北宋产生的卓筒井；四是小口深井时期，始于清代中晚期[11]。

小口井技术发明于宋，明代钻井工艺便已相当规范；清初之时，由于战争等的影响，四川盐井受到了很大破坏，清代中、晚期遂复兴起来，有关工艺操作亦更为完善、规范。[12][13][14]此期的深井钻凿工艺已形成了一套完整的工艺程序，其大致是：（1）定井位；（2）开井口、下石圈；（3）凿大口；（4）下木柱；（5）凿小眼。我国盐卤开采技术亦发展到了一个更高的、小口深井的阶段[15]。此基本程序与明代差别不大，当更加完善和严格，不再一一介绍。此期井盐开凿技术的主要成就是：凿井工具更加多样化和专业化，补腔技术得到了更为充分的发展，打捞落物技术发展到更高水平，凿井工艺程序进一步完善起来，从而钻出了当时世界上最深的盐井。严如熤（1759～1826年）《三省边防备览》[16]、李榕《自流井记》[17]、吴鼎立《自流井风物名实说》[18]、四川总督丁宝桢等撰《四川盐法志》[12]等，对清代后期四川盐井技术都有较为详细的记载。云南井盐开采此时也有了较大发展，并在康熙年间出现了一部名为《滇南盐法图》的书，有学者誉之为“清代云南井盐生产的历史画卷”[19]，其中载有许多少数民族以井卤、泉卤制盐的资料[20]。

（一）钻具的完善和多样化

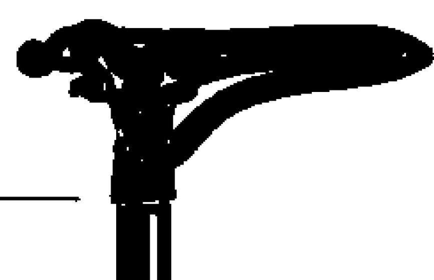
钻具是钻井的主要工具，它的性能直接影响到钻井工效。钻具大体上包括两大部分，一是钻头，二是其他连接部分、辅助部分。

1. 钻头

明代谓之钎，清代谓之锉。明《盐井图说》提到的钻头只有大钎和小钎两种。清代之后，由于井深加大，岩层更为复杂，适应于不同的地质条件、不同深度、不同用途，钻头形态和结构就更加复杂多样和完善起来。吴鼎立《自流井风物名实说》载：“锉之名不一，有大锉、银锭锉、财神锉、马蹄锉，有一皮草、四楞子、八王鞭、列子、松虬子、罗布头、二水列子、三水列子，有半边马蹄、半边银锭者，名为垫根子，有长条。”[18]计十多种，现简单介绍其中几种。

大锉，又叫鱼尾锉。当由明代大钎演变而来[13]，为“平地开井用锉，上锐中阔，其末斜而宽，曰鱼尾锉，长一丈”[21]。《四川盐法志》卷三“器具图说·鱼尾锉”载：“其末广博八九寸，大

**图9-1-1 《四川盐法志》所载“鱼尾锉”**





者尺一二寸，小大因井。柄长六七尺，或八九尺。柄中作环，或方或圆（曰窝弓），为山匠用手转旋地。锉上系竹绳，曲屈旋柄而上，交于系锉之篾，虑用力猛，锉偶折，系之使不脱也。重百二十觔，或百七八十觔。下石圈后用此锉大口，自八九尺至三十余丈，然后下木竹焉。"（图9－1－1）同时它还用于团大口位置及踏木柱，或说"石臼以下用大锉"[17]。

银锭锉，又叫小锉、太平锉。"长柄大末如银锭。"[21]当由明代小钎演变而来，这是凿小眼的基本锉。《四川盐法志》卷三"器具图说·银锭锉"载："下木竹后，锉小口至底皆用此。""其柄上方下圆，剖斑竹或南竹四片，长可二尺，束方柄上（原注：曰把手），上用转槽子或梃子纳把手，上口内束，其口可上下提挈（原注：后凡用把手者视此）。"其锉头"高可六七寸，或八九寸，前后椭圆，左右中削（原注：曰泥槽），锉井时有泥沙可让由中出，则锉易下。柄长丈二尺，小者八九尺，重八九十觔，或百三四十觔；视井深浅，深宜轻，重则坠；浅宜重，轻无力"。此钻头"中削（曰泥槽）"，即钻头中部开有凹槽。

单马蹄锉（垫根子锉）和双马蹄锉。即锉的底部呈单马蹄或双马蹄状。在清代，马蹄锉主要用于治井，即处理钻井过程中遇到的一些疑难现象，如井中遗石，便可下双马蹄锉击碎，再用吞筒吸出；若井底半软半硬，为预防井斜，则用单马蹄锉。但清代以后，单马蹄锉和双马蹄锉皆与银锭锉交错用于钻井[12][13]。

财神锉。主要功用是："开大口后，井中走岩、遗竹、绞沙泥，则下此捣之，可碎作泥。"锉的尺寸是："广博三寸，厚五分寸之一，中曲诘作纽，旁有齿，柄有把手，与银锭锉略同。长丈余，圆径一寸二三分，重百二十觔。"[12]

上述锉头中，鱼尾锉、银锭锉、垫根子锉、双马蹄锉，皆为正常钻进使用的钻井工具，财神锉则是为了适应各种不同的特殊需要而发明出来的特殊钻头。其他不再一一介绍。北宋中期的钻头较为简单，由《东坡志林》卷六可知，它只是一种"圜刃凿"；明代晚期或稍前便有了进步，出现了扁钻头，钻井工具有大钎、小钎两种；清代晚期或稍前，又发明了多种形式的锉头，便极大地提高了钻井工效。

2. 连接工具

在锉头不断改进和完善的同时，钻具其他部分也有了较大的发展。明代凿井时，通常是"以火掌绳钎末"，即直接以火掌篾连接钻头，结构较为简单。清代则发明了名叫"转槽子"、"铤子"、"压手"等连接具，分别连接在凿井工具、打捞工具、汲卤工具上部，从而构成了一个既复杂又灵活的井卤开采工具。

"转槽子"。在明代撞子钎的基础上发展演变而成。此名始见于吴鼎立《自流井风物名实说》①，丁宝桢等撰《四川盐法志》卷三"转槽子"条说得甚为详细："凡锉，皆系转槽子下，转槽子上即悬于花滚篾条。其器铸铁为梗，上广博二指许，取篾片合而束之；有钩距，著绳稳固不脱。末大作方楞，下微椭（俗曰'四楞鸡脚杆'），以入把手方口束其上。又铸铁圆而椭，中空如悬钟，约梗上，活脱

① 吴鼎立《自流井风物名实说》：其状类如铁铤："吊锉一管，锉之上有一铁挺（铤），名曰转槽子，长四五尺，上大下细，底包一铁壳，系活动之物，名'鸡蛋壳'，入锉之把手中以试'蛋门'，方知锉曾否权（同治《富顺县志》作拢）底。"

能高下转动（俗曰‘蛋门’，又曰‘鹅公泡’，又曰‘鸡蛋壳’）。其末既入锉，把手下井中，锉及底则把手上撞梗上铁，必上下作声；如篾短而锉悬，与篾长委井底，则铁无声，即知锉不曾下，或铁空处为泥沙淤塞亦无声，必取而除之，然后复入锉。盖恃此为消息也。器长四五尺，重可四十觔。”（图9－1－2）这里谈到了转槽子的结构、使用方法和功能。其外壳是竹的，形似腰鼓，其上系绳，下连钻头（即锉）。转槽子是我国古代劳动人民的一项杰出创造，在世界钻井史上占有重要的地位。

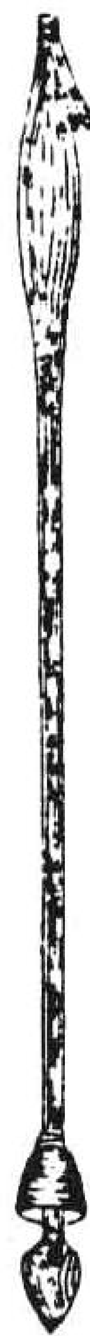
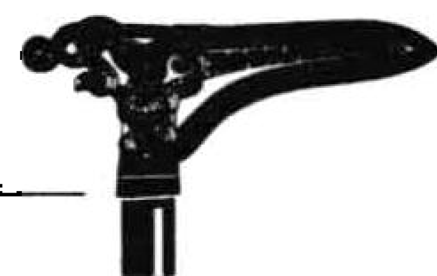


图9－1－2 《四川盐法志》所载“转槽子”

从传统技术调查来看，转槽子也有一些不同类型，一般由铁杆、“球球”、铁壳(即“蛋壳”)、铁箍子等组成。铁杆有圆形和矩形两种，顶端有“老鸦嘴”(又称“云头”)，或“针鼻子眼孔”等；下部逐渐收小成四楞形（或圆形），俗谓“鸡脚杆”。鸡脚杆的底端连接“球球”，这实际上是一个上大下小的方形（或圆柱形）平截圆锥体。鸡脚杆面套一铁壳，铁壳有方形和圆形两种，铁壳内部空腔为正方形通道，与鸡脚杆紧密配合；蛋壳在鸡脚杆外可上下滑动。球球的上部一定要大于蛋壳的内孔，以保证鸡脚杆上下活动时不致脱出。蛋壳活动范围，上受鸡脚杆下受球球的限制，这段活动距离便是现代钻井的冲程。转槽子为锻件，长约1.9米，其中球球长4.7厘米、蛋壳长20厘米、鸡脚杆长75厘米。鸡脚杆上部谓“量天尺”，尺寸为6.5厘米×4.6厘米。鸡脚杆尺寸为4厘米×4厘米。球球上部为6.5厘米×6.5厘米、下部为4.6厘米×4.6厘米。蛋壳内孔为5厘米×5厘米。铁箍子外径约11.5厘米，内径约9.2厘米[13]。

转槽子的主要作用有二[14]：(1) 指示器的作用，即显示锉的工作状态和井下工作情况。当篾的长短适中时，钻头下冲，接触到井底岩石后便会骤然停止，但此时转槽子却仍在继续下行，并与锉相碰而发出强有力的声音，匠人便“恃此为消息”，即依此井下传来的声音，便可判定钻头已达井底。反之，“如篾短而锉悬，与篾长委井底，则铁无声”。说明钻头已不能正常工作，匠人便可及时放长或收短篾绳。(2) 震击，以解除卡锉的作用。凿井过程中，若锉头或锉杆被卡在井内，便可用“鸡脚杆”往下冲击锉头，或上提撞击“蛋壳”，于是产生强烈振动，从而使锉头或锉杆从岩石中松脱，随之提起。

铤子。由明代撞子钎演变而来[13]，它的结构和工作原理与转槽子基本一致，唯更长更重。搧泥和处理事故时必用此器。“长八九尺，略如转槽子。凡扇泥暨用療井病之铁器，必以此挺系其上，镇之使下坠。”[21]《四川盐法志》卷三“梃子”载：“槽转子柄末制方，而此圆，径六七分（原注：俗曰‘鸡脚杆’）。转槽子上扁，而此仍用把手，柄上仍约铁令作声。重五六十觔，或七八十觔，用法略如转槽子。必两具者，转槽子较轻，或遗物有窒碍者，须重乃能陷入，轻则浮故也。”



（图 9－1－3）

从传统技术调查来看，铤子的本体为圆铁杆，全长约 4.8 米，直径 9.5 厘米，其中鸡脚杆长 75 厘米，横截面呈圆形；球球长 15 厘米，上部直径 7 厘米，下部直径 5.5 厘米，为上大下小的圆台形；铤子顶部上端为云头，或针鼻子。凡打捞工具下井作业时，必须连接铤子。因铤子的记载较早，故有学者认为转槽子是由铤子发展过来的[13]。



图 9－1－3 《四川盐法志》所载“梃子”

（二）补腔技术的发展

古代盐井都是裸眼开采的，通常只在近表较易崩塌的岩层放入竹、木套管，产层皆为裸眼。入清之后，随着井深的增加，井壁坍塌、淡水渗入的现象日益加剧，为此，补腔技术也就发展起来，使井壁坍塌和淡水渗入现象得以避免。

补腔技术应是随着深井技术而发展起来的，嘉庆（1796～1820 年）年间便已达一定水平。严如熤《三省边防备览》卷九“山货”载：“犍、富之井皆系凿成，相其地脉，出盐者凿之……盐井沿山皆有，高下深浅不一，自百数十丈至三四百丈，井口大如碗……偶坠物件，能以竿捡取。遇井内有渗漏，能补塞之。”道光二十四年（1844 年）成书的范声山辑《花笑庼杂记》则说得更为明晰、完善：“筒或漏水，试探上下左右能悬补之。”补腔材料大约主要是桐油和石灰等物，李榕《自流井记》载：“走岩者以油灰补之”。

（三）打捞落物技术的发展

早在明代，打捞落物技术便发展到了较高水平，并出现了搅镰、铁五爪等打捞工具。清代打捞工具更是名目繁多，凡落入井中之物，无不顺利捞起。李榕《自流井记》载：“凡已未成之井，均不能无病，有病必停工，谓之挂井，因其病而治之。如落大锉者用‘埽链’，落小锉者用‘偏肩’，落筒者用‘木龙’，落索者用‘穿鱼刀’，落篾者用‘独脚棒’。其器之机巧，不能名状。有时神明变通，并不能拘成法也。”可见这工具种类和打捞方法，都比明代有了发展，其最后四句，更反映了其应变自如的技术。

传统的井卤开采工具异常丰富，刘德林等曾依其使用性能和几何形状，把自贡盐业历史博物馆收藏的 600 多件工具归为 12 种类型，即：（1）钻井工具，如银锭锉、马蹄锉等，计 9 种。（2）打捞工具，俗谓“取难”工具，如偏肩、五股须等，计 28 种。（3）辅助打捞工具，如扫镰、三楞子等，计 40 种。（4）固井工具，旧称“刁换木柱”，如“锯子”、“木柱”等，计 21 种。（5）测补工具，如“上欠”、“发口壳子”等，计 18 种。（6）维修工具，旧称“淘治井”，如“盐杆铲铲”、“文财神”等，计 26 种。（7）连接工具，如转槽子、铤子等，计 16 种。

(8) 掏泥汲卤工具，如掏泥筒、汲卤筒等，计4种。(9) 扶正工具，如梭皮、梭边等，计7种。(10) 井上设备，如天车、碓架等，计8种。(11) 制盐工具，如"小小锅"、千斤锅等，计16种。(12) 输卤、输气工具，如输卤枧等，计10种。其中属于盐井凿、治工具的大约有130多种[22]。这些工具多数源于清代，也可能有一部分是近代发明、制作的。图9-1-4所示为《四川盐法志》卷二所载锉大口图。

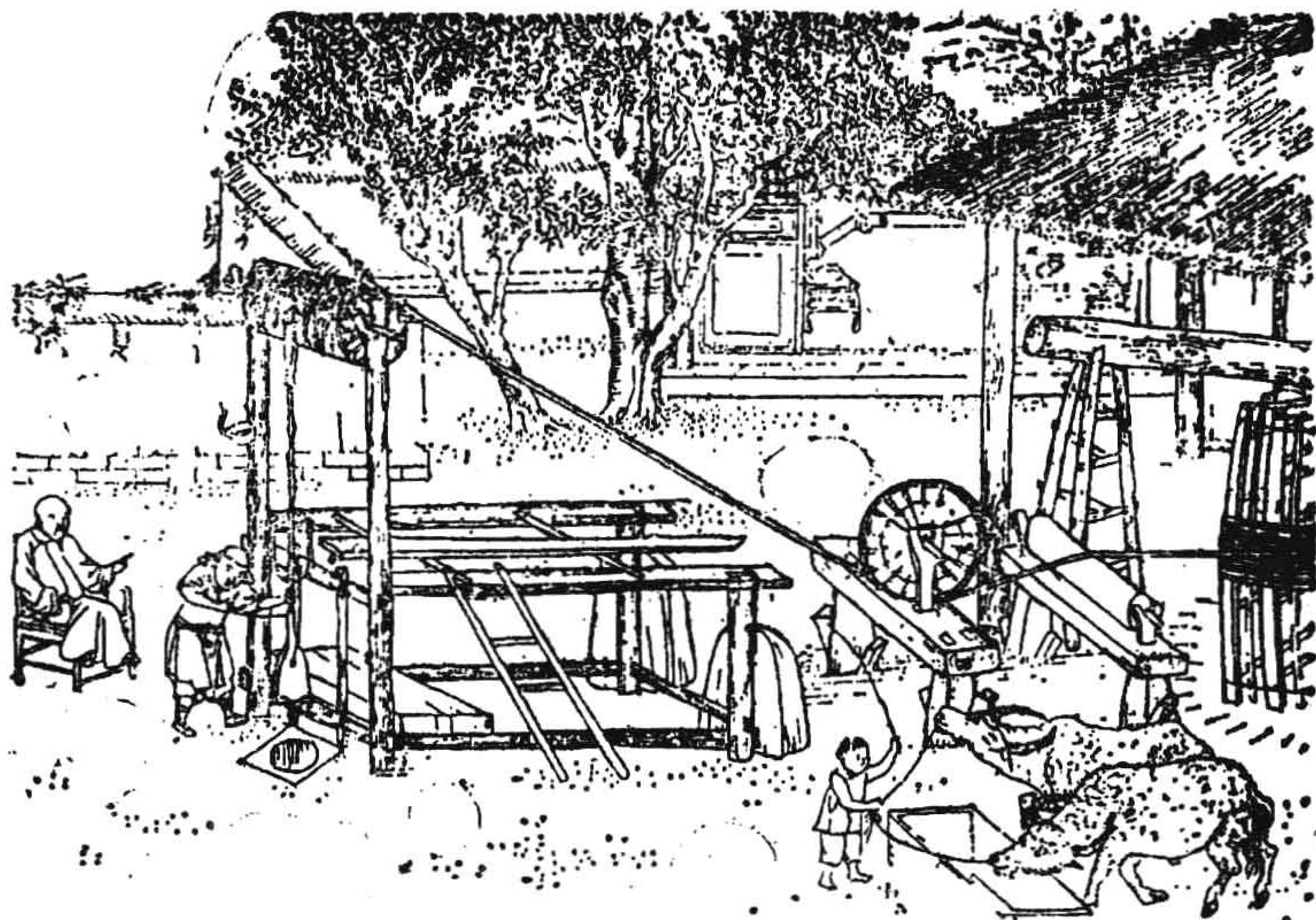


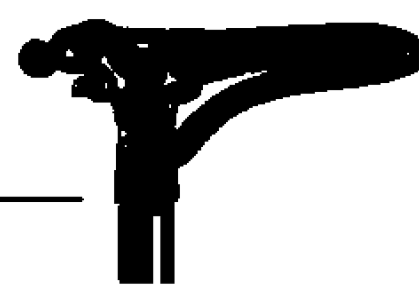
图9-1-4 《四川盐法志》所载"锉大口图"

此期的汲卤法依然是竹筒法，严如熤《三省边防备览》卷九"山货"载："取水用大斑竹，长二丈余，去内节，谓之筒竹，筒底以牛皮为机关，入井则皮内吸水即入筒，挈走则皮自闭"。

清代中、晚期，我国深井技术发展到当时的世界最高水平。前面提到，严如熤《三省边防备览》卷九"山货"载：犍为、富顺的盐井"沿山皆有，高下深浅不一，自百数十丈至三四百丈"。此"三四百丈"，依中国国家博物馆藏清代裁衣牙尺，每尺合今0.358米[23]，则达1000～1400米。一些国外资料说，道光十五年(1835年)时，所凿燊海井深达1001.42米；[24][25][11]若无先进的钻井工具和完善的补腔技术、打捞落物技术，以及十分规范的工艺程序，是很难达到这一深度的。直到清代晚期为止，我国深井钻凿技术在世界上一直是遥遥领先的，并一直受到国内外学者的关注。德国学者福格尔引用我国井盐史研究家林元雄等的观点后写道："继火药、指南针、印刷术和造纸术之后，四川深钻井技术被誉为中国科学技术史上的第五大发明或发现，是不足为怪的。实际上，深钻井技术对现代工业发展的重要性是显而易见的。我们只需提一下深钻井对石油和天然气的抽取、供水和地质研究的重要性就足以说明了。"[26]

**四、天然气开采技术的杰出成就**

我国古代对天然气的开采和利用都是较早的，但直到明代为止，在技术上长时期皆无太大进步，其最大成就是类如张瀚所说的以竹枧引气煮盐，且使用了分



管。这情况到了清代才有较大变化，此时发明了一种名叫簾盆的低压采气装置，将我国采气技术发展到了相当完善的阶段。

在簾盆出现前，四川天然气开采量便进入了一个兴旺的阶段。严如熤《三省边防备览》卷九“山货”载：“川中古传火井有盛有歇，近来（指道光初年）犍、富各县火井大旺，较之昔年，可省煤十之三。火井与水井同，开凿时，不知有火，及见火，初只有气，复淘至二三丈，火始旺。泥封井口，插竹筒导火入灶以煎盐。极旺之井分售于它井，颇获其利。嗅之有硫黄气，贮以猪尿胞（脬）可寄远。刺小孔以阳气引之，气出如缕，暗室生光。火井中仍出盐水，亦一奇也。”此处值得注意的是：（1）“泥封井口”，这对采集天然气显然是个较好的措施。（2）其天然气不但可供井口周围之灶，还可“分售于它井”，可见其已有了较好的输气管和分气管。

清李榕《自流井记》还谈到了清代晚期天然气煮盐业的一些兴盛情况：自流井区在“道光初年见微火，时烧盐者率以柴炭，引井火者十之一耳。至咸丰七、八年而盛，至同治初年而大盛”。“火之极旺者：曰海顺井，可烧锅七百余口，水、火、油三者并出口；磨子井，水、油二种经二三年而涸，火可烧锅四百口，经二十余年犹旺也；德成井火，卤气熏人致死，可烧锅五百余口，水自井口喷出，高可三四丈，昼夜可积千余担，然水火并涸矣。双福井，水亦昼夜喷千余担，经年不喷，牛车推之，尚可百余担。”[17]

类于簾盆的记载始见于道光（1821～1850年）时期，范声山《花笑庼杂记》在描述富顺火井的采气工艺时说：“用衔竹吸烟，如接水状，引入锅底煮盐，省煤，利益厚，甚有一口井接数十竹者，并每竹中间复横嵌竹以接之，烟盛，无不贯透”。此“一口井接数十竹”、“每竹中间复横嵌竹以接之”的做法，显然较严如熤所云有了很大的进步，它应是一种纵横交错的管道网，这很可能是簾盆的初始形态。

清王培荀《听雨楼随笔》卷六对此作了更为清楚的描述：“火井昔在（临）邛，今富顺、荣县俱有。凿深百余丈，或二三百丈，热气涌出，甚或烧屋，此其变也。制木为盖，覆井口环盖。穿穴不拘数，每穴承以竹笕，每竹笕接处箍以铁，以笕凿孔，竖以铁筒，气从笕筒出，置锅其上，引以人火，合同而化，光焰蓬勃，隆隆有声，异于常火，铁热而竹不燃。猪脬盛之，可以赠远。一井能供二三百锅，次者七八十口，最下七八口。”[27]显然，这是在井口上覆以“环盖”，盖上插有许多引气竹笕，竹笕开口再引出分管的一个完整的引气输气系统。其形态与后来的簾盆应基本一致。此书成于道光二十六年（1846年）。

同治及光绪初年，李榕《自流井记》还较早地谈到了这种气水同采的装置及其具体结构：“井火之发也，覆以木盆，其盆高一丈，径一丈，围三丈，上锐而下丰，以束其气。盆上环置竹笕，引其气以达于盐灶，盆中央仍开一孔径三寸，环以石圈，附以土围，结为井口。井有水筒取之如故也”[17]。这是一种气水同采装置，看来，其引气之法与《听雨楼随笔》又稍有差别：此盆之中央仅“开一孔”，《听雨楼随笔》则说盖上“穿穴不拘数”。

丁宝祯《四川盐法志》卷二“井火煮盐图”对这种采气技术又作了进一步的

总结："用井火煮盐者，凡火井成，井口尚陷地丈许，上用虚底木桶罩之（曰炕盆）。桶式下阔而上狭，大小视火之强弱。桶上覆以木板，中留小窍，上覆片席，席上置木箱一，亦下阔上狭而方，与下井口相承。气由席上达箱（曰冷箱，又曰冲天枧），箱口不见火，惟有气。""其桶旁凿窍，以枧端接穿地中。将至灶外户，又作一桶，凿窍置枧如前，达于灶圈侧小气桶。又由气桶置铁枧达灶内石火罐。先用阳火引之，锅下四旁用泥作枕，高六七寸，以支锅灶。"（图9-1-5）这里用到了"炕盆"一词，与前云《自流井记》所云"木盆"、《听雨楼随笔》所云"环盖"应大体一致。稍后便出现了"簾盆"一词，并在富荣盐场流行起来，沿用至今。此系统地谈到了采气、试气、输气和引气入灶燃烧的全过程，还描述了天然气由井腔—炕盆—气桶—小气桶—火罐子的流向，是一段十分难得的资料。



图9-1-5　《四川盐法志》卷二所载"井火煮盐图"

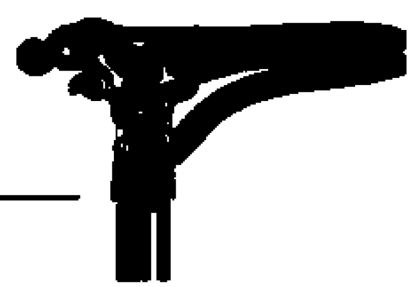
有关研究认为：这种簾盆采气是十分科学的，它不但可测量气之大小、分离天然气和卤水，而且可调节空气与天然气的配比，防止爆炸事故。这既具有减压、气水分离的性能，又具有防爆、防毒（硫化氢）和气水同采的功效，其中某些功能甚至是可与近代采气装置媲美的，故它一直受到中外采气专家的赞许，至今仍不失其使用价值。簾盆采气的发明，是我国古代采气工人的一项杰出创造。

**五、石油开采技术的发展**

我国古代的石油开采法，大约宋代及其之前，是自然流出，露天采取的；元代发明了人工凿井工艺；至迟明代，便采用了"小口井"工艺，清代便更加普遍地使用起来，并且往往盐、油同采。

严如熤《三省边防备览》卷九"山货"载：在犍为、富顺，"水井之内更有井油，色与水同，汲水入筒，油浮水面若腻脂，舀起盛盎，夜间煎盐用之。燃灯微有硫磺气"。这里谈到了油、水同采的工艺。

吴鼎立《自流井风物名实说》载："石油有浅深之别，浅者五六十丈，深者百余丈，或二百六七十丈不等。多者推出皆属净油，少者油水相搀，油浮水面，取



时以竹器掬之。再少者，以谷草揉之。”[18] 此二百六七十丈，折合公制则有 860 ~ 890 米。显然，这也是个水、油兼采的工艺。

清杜应芳等《补续全蜀秇文志》卷四六载：“油井在嘉定、眉州、青神、井研、洪雅、犍为诸县。居人用以燃灯，官长夜行则以竹筒贮而燃之，一筒可行数里，价减常油之半，光明无异。”[28] 可见四川产油之广。显然，这与其采盐业的发展是密切相关的。

## 第二节 金属冶炼和加工技术

清代早、中期是我国传统冶金业的衰退期，技术上很少有新的建树，比较值得注意的是：出现了一些规模较大的冶铸工场，构筑了较为坚实而高大的炉子，广东部分地区还采用了机车装料，坩埚炼铁始见于记载。灌钢技术有了提高，并发展到了“苏钢”的阶段。白铜技术有了较大发展，并出现了不少白铜厂。铁模铸造技术有了新的发展。管形火器和铁画的锻制工艺都有了提高。拉制出了多种不同型号的铜铁材料。硬钎焊技术也有了一些发展。

### 一、炼铁技术的发展

在清代冶铁术中，最值得注意的成就是构筑了一些较为高大的炼铁高炉，坩埚冶铁有了明确的记载。

#### （一）高炉冶铁技术的发展

屈大均（1630 ~ 1696 年）《广东新语》卷一五“货语 · 铁”条载：“铁莫良于广铁……炉之状如瓶，其口上出，口广丈许，底厚三丈五尺，崇半之，身厚二尺有奇。以灰沙盐醋筑之，巨藤束之，铁力、紫荆木支之，又凭山崖以为固。炉后有口，口外为一土墙，墙有门二扇，高五六尺，广四尺，以四人持门，一阖一开，以作风势。其二口皆镶水石，水石产东安大绛山，其质不坚，不坚固不受火，不受火则能久而不化，故名水石。凡开炉始于秋，终于春……下铁矿时，与坚炭相杂，率以机车从山上飞掷以入炉，其焰烛天；黑浊之气数十里不散。铁矿既溶，液流至于方池，凝铁一版（板，下同）；取之，以大木杠搅炉，铁水注倾，复成一版。凡十二时，一时须出一版，重可十钧；一时而出两版，是曰双钩，则炉太王（旺?），炉将伤。”这里说到了炉型（如瓶）、炉子尺寸、构筑方式、风口设置、鼓风、装料，以及熔炼情况等。

严如熤（1759 ~ 1826 年）《三省边防备览》卷一〇“山货”在谈到关中冶铁炉情况时说：“铁炉高一丈七八尺，四面椽木作栅，方形，坚筑土泥，中空，上有洞放烟，下层放炭，中安矿石。矿石几百斤，用炭若干斤，皆有分量，不可增减。旁用风箱，十数人轮流曳之，日夜不断，火炉底有桥，矿渣分出，矿之化为铁者，流出成铁板，每炉匠人一名辨火候，别铁色成分。”这里也谈到了筑炉和冶铁的简单过程。

此两段文献大体上反映了清代早、中期广东和关中冶铁技术的基本情况。由之可见：（1）炉子可用灰沙盐醋、石块和土泥构筑；为坚牢故，亦可傍山穴，或用巨木匡围，巨藤束之。明代也有类似的操作，此应是明、清筑炉技术上的一项

进步。（2）屈大均说“炉之状如瓶”，说明其具有炉身角和炉腹角。（3）广东在明末清初曾用风扇送风；关中在清代中期则使用风箱送风。（4）广东地区在明末清初还使用了机车装料，这是我国古代使用半机械装置的最早记载。（5）直到清代，关中冶铁炉依然沿用炉底风沟技术，即“火炉底有桥”。

此外还有两点值得注意的是：

（1）1978年，广东省博物馆对罗定县炉下村清代冶铁遗址进行了一次调查，在距铁炉遗址约500米处发现了一座水碓遗址，调查者认为它是用来破碎矿石的[1]。此遗址即是清代的罗定大塘基，屈大均《广东新语》卷一五“货语·铁”条说：“然诸冶，惟罗定大塘基炉铁最良。”水碓约发明于西汉时期。若判断无误的话，这便是水碓碎矿的重要例证。此前很少看到。

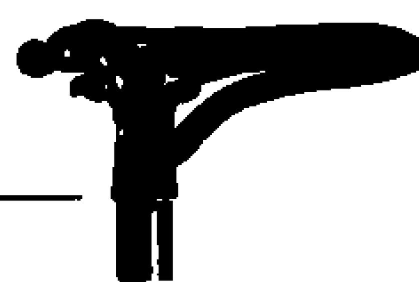
（2）明末清初在钢铁业中还出现了“大炉”、“小炉”之名，清代中期又出现了“高炉”之名。《广东新语》卷一五“货语·铁”条载：“炉有大小，以铁有生有熟也。故夫冶生铁者，大炉之事也；冶熟铁者，小炉之事也。”自然，此“大炉”指炼铁炉，“小炉”即炒钢炉。《清代钞档》“乾隆十七年八月总督四川等处地方军务兼理粮饷管巡抚事臣策楞谨题”在谈到四川威远铁业时说：“今查大山岭铁炉沟二处，铁矿颇旺，共设高炉六座。每炉一座，用夫九名，每日每名挖矿十斤，煎得生铁三斤……高炉六座，通共用夫五十四名。”[2]这是今见文献中，较早提到“高炉”一词的地方。此“高炉”之本义，当即体形高大之炉。其实，清人不但用“高炉”一词来称呼炼铁炉，而且还用它称呼其他较为高大的有色金属冶炼炉。《道光大定府志》卷四二“经政志”载：“《威宁州志》云：天桥银厂沟产黑铅、白铅；长炉、高炉均有。”此“长炉”当为炼锌炉，“高炉”则为炼铅炉。今世学者常把古代高炉称之为竖炉，以为“高炉”一词属现代科学范围，其实未必如此。从现有资料看，倒是“高炉”之称出现较早，“竖炉”之称出现稍晚的。

从有关资料看，清代冶铁可能也使用过少量焦炭。康熙《颜神镇志·物产》条载：“煤则凿石为井……炼而为焦，以供诸冶之用。”这里谈到了“诸冶”用焦。此“冶”可能包括坩埚之冶、锻户之冶，当然也不能排除了高炉之冶。

（二）坩埚冶铁技术的发展

我国古代生铁曾有两种不同的冶炼工艺，一是高炉冶炼，二是坩埚冶炼。今见较为完整的冶铁高炉约属战国晚期，较为完整的冶铁坩埚约始见于汉，但关于高炉形态的文字描述却是到了明代才有，关于坩埚冶炼的文字描述则是到了清代才看到。

刘耀椿等《（咸丰）青州府志》卷三二“风土考”在谈到博山冶铁时，引“县志”说：“康熙二年（1663年），孙廷铨召山西人至此，得熔铁之法。凿取石，其精良为礦石，次为硬石，击而碎之，和以煤，盛以筒，置方炉中，周以礁火，初犹未为铁也。复碎之，易其筒与炉，加大火，每石得铁二斗，为生铁”。此“石”当指铁矿石，“煤”主要作还原剂，“礁”主要作燃料，“筒”即坩埚，“方炉”即坩埚的外加热炉。此第一次加热相当于焙烧，主要是去硫；第二次加热才是还原冶炼，其产品才是生铁。这是我国古代关于坩埚冶铁较早和较为详明的记载。直到近现代，坩埚冶铁工艺还在山西、山东、辽宁等地流传。此法的主要优点是：



设备简单，操作方便，可大量地用煤冶炼，且可利用粉矿，成本较低[3]。19世纪时，曾引起过不少西方人的兴趣。缺点是金属收得率太低，产品含磷、硫较高。

**二、炼钢技术的进步**

此期的炼钢工艺较为重要的主要有三种，即炒钢法、灌钢法、百炼钢法，其中成就较大的是灌钢法。

（一）炒钢的发展和反射炉炼钢法的使用

此期炒钢技术中最值得注意的事项是，可能使用了反射炉炼钢。

我国反射炉炼钢的起始年代今已难考。依1935年出版的《中国实业志（湖南省）》所云，当可上推至清代初期，其第七编在谈到湖南邵阳土钢时说："湘省邵阳、武冈、新宁、湘潭等县之土法炼钢，由来已久。邵阳原名宝庆，所产之钢，称曰'宝庆大条钢'。邵阳附近之武冈、新宁出品，均集中于邵阳，业中人亦以'宝庆大条钢'名之。前清初叶，宝庆大条钢极负盛名，而产额之多，首推邵阳南乡，取当地之矿铁炼成。炼钢之家，统名钢坊。同治年间，有二十余家。所产钢条，年约一万余担，行销汉口、长沙、河南、甘肃、山西、河北等处，颇形畅旺"。此说清代初叶宝庆大条钢便极负盛名，而在流传下来的传统技术中，邵阳土钢法实系以反射炉进行加热的炒炼工艺。依此，一般认为我国古代的反射炉炼钢当在清初便已使用[4]。看来此可能性还是存在的。20世纪三四十年代，四川綦江和威远都还保留着一种燃烧室在上、熔炼室在下的甑式炒钢炉，亦是一种反射炉[5]。我国古代陶瓷技术中是否存在倒焰窑，目前尚不能肯定，但在炼钢技术中存在反射炉还是基本可信的。反射炉的优点是：（1）熔炼室与燃烧室分离，便减少了燃料中的硫等有害物质进入金属的可能性。（2）热分布更为均匀，有利于均匀脱碳。反射炉的使用，是清代炒钢技术的一个重要技术事件。

清刘耀椿《（咸丰）青州府志》卷三二"风土考"条谈到过山东博山一带以坩埚生铁为原料的炒炼法。说坩埚生铁中，质优者可用来铸器，质恶者则用来炒炼："每石得二斗为生铁。复取其恶者，置圆炉中，木(大)火攻其下，一人执长钩和搅成团，出之为熟铁，减其生之二焉"。此说炒炼炉呈圆形，其下用大火加热，为底吹式，用长钩炒炼。

炒炼技术在我国经历了两千年左右的漫长历程，在不同历史时期、不同的地域、不同的作坊，具体操作都可能不同。从金属加热情况看，我国传统炒钢工艺大体包括3种不同类型：（1）熔炼室与加热室共用一个空间者。此法发明较早，且一直沿用到了近现代，这是炒炼法的基本工艺。今在考古发掘中看到的汉代炒炼炉，以及《（咸丰）青州府志》所云炒炼炉，大体上皆属这一类型。（2）无需加热室者，如宋应星所云串联式。（3）炒炼室与加热室相分离者，即宝庆一带的反射炉炒炼。

（二）灌钢技术的发展和苏钢的出现[6]

灌钢技术在清代的主要成就，是明代的"灌淋法"发展到了"苏钢"的阶段。

陈春华纂《（嘉庆）芜湖县志》卷一载："芜工，人素朴拙……惟铁工为异于他县。""居于廛治钢业者数十家，每日须工作不啻数百人。初锻熟铁于炉，徐以生镤下之，名曰餧铁，餧饱则不入也。于时渣滓尽去，锤而条之，乃成钢。其工





之上者，视火候无差，忒手而试其声，曰若者良，若者楛。其良者扑之皆寸断，乃分别为记，橐束而授之客，走天下不訾也。工以此食于主人倍其曹，而恒秘其术。”可见这也是一种灌淋法。“徐以生镤下之”，即缓慢地将生铁灌淋到“熟铁”上，说明生铁灌淋“熟铁”的速度和生铁与“熟铁”间的相对位置，都是可以适当控制的。此即后世之谓“苏钢法”。其与前述灌淋法的主要区别是：其原料是“初锻熟铁”，实际上只是将炒得之“熟铁”拍打、拍聚在一起而已[7]。其优点是：(1)“初锻熟铁”组织较为疏松，而有利于渗淋。(2)其所含氧化夹杂较多，可较大地提高碳氧化反应的强度。(3)其中的氧化亚铁会部分地还原出来，从而提高了金属收得率。(4)去渣能力较强，“于时渣滓尽去”。

据说苏钢首盛于芜湖，而为江苏籍某氏所创[7]。1935年出版的《中国实业志(湖南省)》第七编载：“湘潭产钢，名曰苏钢，与宝庆大条钢形式不同，质地较优。该业起自前清乾隆年间，由芜湖陶裕盛传授来湘。至咸丰时，湘潭之苏钢坊，计有四十余家……亦为湘潭苏钢业之黄金时代。”此明确地提到了“苏钢”之名，并说湘潭苏钢系乾隆时（1736～1795年）由芜湖传来。据今人张九皋研究，芜湖炼钢业约始于南宋[8]，明、清时期芜湖钢业甚盛，不少大钢坊皆由南京迁去，其工人也多出自南京地区，故说“苏钢”为江苏人所创是有一定道理的[4]。此工艺在我国一直沿用了下来，及至20世纪30年代，我国西南一些地方还在使用[7]。图9-2-1为20世纪30年代重庆附近的苏钢炉(抹钢炉)及其风扇示意图。

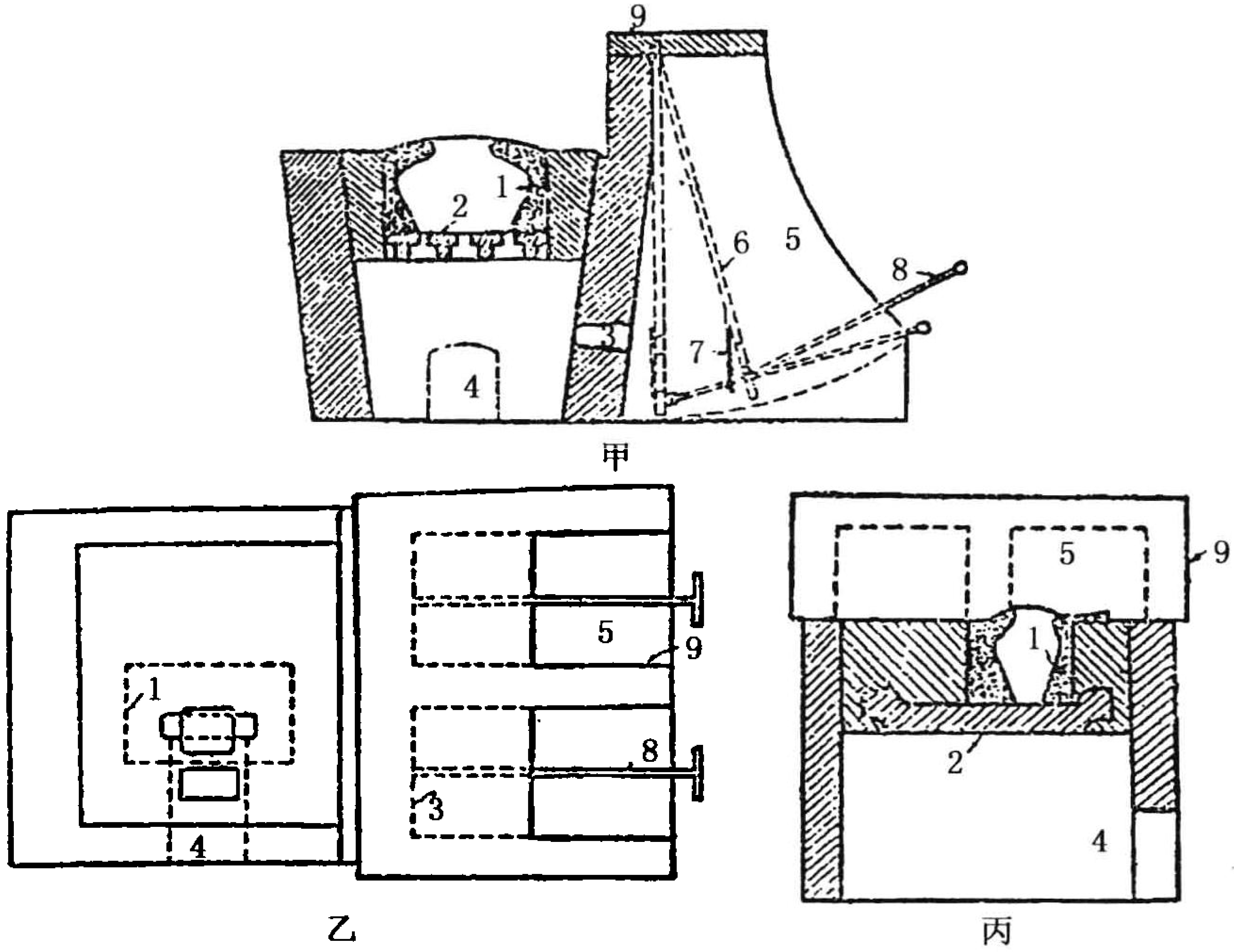


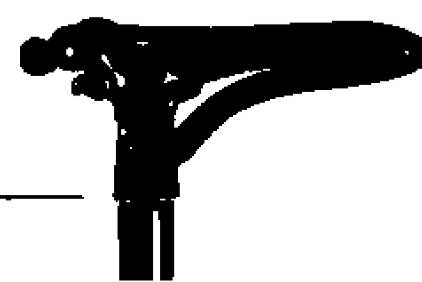

**图9-2-1　20世纪30年代重庆北碚抹钢炉及其风扇**

甲　正面中截面图　　乙　平面图　　丙　横中截面图

1. 炉膛及砂泥内衬　2. 炉桥　3. 进风口　4. 灰渣出口处

5. 连续性风扇　6. 风叶　7. 活门　8. 送风柄　9. 风扇墙

采自文献[7]





关于灌钢冶炼的工艺原理，国内外许多学者都作过研究，有人认为它是一种渗碳钢，或者匀碳钢，即用生铁向熟铁渗碳，或匀碳。英国学者李约瑟[9]，日本学者吉田光邦[10]、藪内清[11]，我国学者张子高[12]、陈良佐[13]等，大凡皆持此种观点。但我们认为它既不是渗碳钢，也不是匀碳钢，而是一种“排渣钢”。灌钢冶炼的主要目的并不是调剂含碳量，而是排除夹杂[6]。说其为渗碳钢，是把作为灌钢原料的“熟铁”，与现代熟铁等同起来了之故。其实这是一种误解。

（1）从文献记载看，古代“熟铁”、“柔铁”即相当于现代意义的可锻铁，其含碳量可能与现代熟铁相当，也可能与现代高碳钢相当[14]。如明宋应星《天工开物》卷一四说：“凡铁分生熟，出炉未炒则生，既炒则熟。”此“熟铁”实际上是一种炒炼产品，因炒炼过程可适当控制，故其含碳量是可高可低的。又如前引元人伪撰《格物麤谈》卷下载：“地溲油又如泥……柔铁烧赤投之二三次，刚可切玉。”此“柔铁”烧赤淬火后，“刚可切玉”，含碳量自然是较高的。

（2）从实物分析看，炒炼产品含碳量也有较高的。前云汉建初二年五十炼长剑，刃部中心含碳量为 0.7% ~0.8%[15]；永初纪年三十炼大刀，刃部含碳量为 0.6% ~0.7%[16]；它们都是炒钢，都是高碳钢。汉铁生沟所出两件炒炼产品中，一件含碳量高达 1.288%，相当于过共析高碳钢[16]。若以这类炒炼产品作为灌钢原料时，这是未必要渗碳的。

（3）1938 年，周志宏曾对重庆北碚苏钢作坊进行过一次考察，得知原料“熟铁”与灌钢产品的含碳量是大体一致的，皆达 0.92%[7]。可见其灌炼过程中并未渗碳，是不能用“渗碳”和“匀碳”来解释灌炼工艺的。

这些文献记载、考古实物科学分析和传统技术调查，便是我们认为灌钢并非渗碳钢、匀碳钢，而是“排渣钢”的主要依据。

那么，作为灌炼原料的“熟铁”含碳量已达 0.92%，为何还要灌炼呢？我们认为是为了去除夹杂。现代炼钢是在液态下进行的，去渣较为容易，炼钢的主要任务便是调剂含碳量；古代炼钢则是在固态或半液态下进行的，炼钢的主要任务：一是调剂含碳量，二是去除夹杂，往往后者比前者更为困难。为了去除炒钢中的夹杂，古人最初主要是采用反复锻打，为此便发明了百炼钢工艺，但百炼过程甚为艰难，于是才又发明了灌钢工艺。其实，百炼钢和灌钢，其原料都是含碳量稍高的炒炼产品，两种工艺的主要技术目的，都是为了进一步去除炒炼产品中的夹杂。

（三）百炼钢技术的发展与应用

由于灌钢技术的发展，宋时百炼钢已是稀罕之物，明、清时便更为稀罕了，但类似的工艺依然保留着。张澍如《续黔书》（嘉庆九季）卷六：“苗人制刀必经数十锻，故铦锐无比。其试刀，尝于路旁伺水牛过，一挥牛首落地，其牛尚行十许步才仆。盖犀利之极，牛猝未觉也。”此“数十锻”刀当即百炼钢类。另外，清代晚期时，人们还把它用到了铁炮工艺中，使其使用范围在新的历史条件下又有了一定发展。

清魏源（1794 ~1857 年）《海国图志》曾多次谈到用百炼钢制作火器。其卷一载：“铁经百炼而钢纯，皆与西洋无异。”（古徽堂六十卷本）其卷五五曾引江苏

候补知府黄冕《炸弹飞炮说》，谈到了铸造生铁炮的缺点和打造熟铁炮的优点，说："其打造之法，用铁条烧熔百炼，逐渐旋绕成团，每五斤熟铁方能炼成一斤，坚刚光滑无比……铁经百炼，永无铸造之炸裂，施用灵活，尤胜巨炮之笨重"。此"熟铁"即含碳量稍高的可锻铁[6][14]。此用"逐渐旋绕成团"的方法进行百炼，是百炼钢技术的新操作。

清代也有"百淬百炼"说。清徐寿基《续广博物志》第八"制造"条："炼铁之法，以硝黄、盐卤、人溺合置器内，取铁烧透，俟其红时淬之，每淬一次，则锤炼一次。如是百回，则纯铁百斤仅得宝剑双股，削凡铁如泥。"硝黄、盐卤、人溺皆系淬火剂。此百淬百炼，金属损耗是很大的，故"纯铁"百斤仅得宝剑双股。近现代云南有一种称之为"毛铁"的较粗的炒炼产品，将之炼成"熟铁"时，也使用了淬炼法，使用"热锻—淬火—热锻"的方式，反复三次，金属损耗五分之一[17]。

百炼钢技术约发明于东汉，到近代炼钢法确立为止，约在我国沿用了一千九百年，从我们接触到的资料看，其操作工艺大约主要有4种类型[18]：（1）"百辟百炼"法，如永初纪年"卅炼涑大刀"、曹操的"百炼利器"等。基本特点是"百炼"过程中要多层积叠和多次折叠。（2）"旋绕百炼"法，如魏源引文所云。基本特点是"百炼"过程中要对材料做旋绕操作。（3）"百淬百炼"法，如《续广博物志》所云。（4）单料反复折叠锻打法。据调查，现代龙泉宝剑社曾使用过这一操作①。据说日本刀也有类似的操作，有人认为其"新刀期"的操作要折叠15次，得到32768层组织；有人认为近世日本刀不过折叠7~8次，得到128层或256层组织[19]。折叠时，可垂直式地交叉进行，也可反复单向折叠。

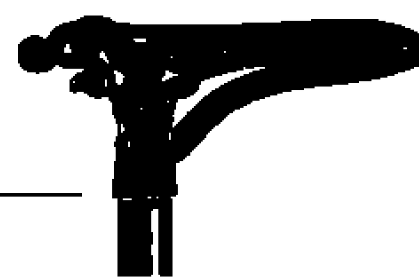
关于"百炼"工艺的实质，相当长一个时期内，国内外学术界一直存在不同看法，归结起来主要有两种观点：日本学者吉田光邦[10]等认为，百炼便是生铁脱碳的过程；日本学者薮内清[11]、我国学者杨宽[4]等人认为，百炼为熟铁渗碳过程。其实这都值得商榷。我们认为，百炼工艺既不是生铁脱碳，也不是熟铁渗碳，而是对"精铁"的反复锻打。百炼钢原料通常应是含碳量较高的炒炼产品，百炼的目的是要进一步排除夹杂，同时还可起到均匀成分、致密组织的作用。百炼钢工艺的基本操作是多层积叠、多次折叠、反复锻打。

这是清代的三种主要炼钢法，此外自然还有一些，如渗碳炼钢法，近现代民间还在使用[4]，清代肯定也使用过这一工艺。

### 三、炼铜技术的发展

清代冶铜业较为发达，技术上也有一定提高。清代主要产铜地是云南，在云南铜业的基础上，出现了多种关于铜矿采冶的专著，其对炉子结构、原料准备和配矿技术、冶炼操作等，都做了较为详细的记载。其中较为重要的有：一如吴其濬《滇南矿厂图略》，这是一部反映云南金属矿开采、冶炼、经济和行政管理的综合性著作，成书于1844~1845年；二如倪慎枢《采铜炼铜记》和浪穹王崧《矿厂

① 我们对浙江龙泉宝剑工艺的调查是1977年10月27日至30日进行的，一行三人，即北京钢铁学院黄务涤、姚建芳，以及敝人。



采炼篇》，皆属技术性专著，未见单本印行，皆今为《滇南矿厂图略》收录。此外，檀萃《滇海虞衡志》、张泓《滇南新语》等都有过关于炼铜技术的大段记述。

（一）关于炼炉结构

《滇南矿厂图略》“炉”第五载：“凡炉以土砌筑，底长方广二尺余，厚尺余，旁杀渐上至顶而圆。高可八尺，空其中，曰甑子。面墙上为门，以进炭卝。下为门曰金门，仍用土封，至泼炉时始开。近底有窍，时开闭，以出铞。后墙有穴，以受风。铜炉风穴上另有一穴，以看后火。银炉内底平，铜炉内底如锅形。”可见此炼铜炉以土筑成，外呈方形，内如甑状，分别设有进料口、金门、鼓风口、观火口等。

这是我国古代文献关于炼铜炉结构较为详细的描述。尤其值得注意的是观火口，这是观察火候的重要技术措施。早在唐代，长沙窑等地就使用了名叫“火照”的火候试验装置[20]。看来铜炉观火口的发明当在清代以前。“铞”、“埽”，铜渣。《滇海虞衡志》卷二“志金石”引《农部琐录》云：“铜渣谓之埽。”

（二）关于原料准备和配矿

《采铜炼铜记》云：“至于炼卝之法，先须辩卝，彻卝即可入炉。卝带土石者必捶拣淘滤；卝汁稠者取汁稀者配之，或取白石配之；卝汁稀者，最汁稠者配之，或以黄土配之，方能分汁；谓之带石卝之易炼者，一火成铜，止用大炉煎熬。”这里谈到了辨矿、淘洗、配矿等操作。此“辩卝”即辨矿，即分辨矿之优劣。《汉书·百官公卿表上》说武帝元鼎二年置有名为“辩铜”的职官，如淳注：“辩铜，主分别铜之种类也”。彻，当是“彻底”之意，“彻卝”即是彻底的上等好矿；下文将要提到，品位更低的依次叫“次卝”和“下卝”。在这段引文中尤其值得注意的是配矿技术，其约发明于先秦时期，但关于炼铜配矿的明确记载却是清代才看到的。带石，即配带白石、黄土等造渣熔剂，使其中的 FeO 与 $SiO_2$ 等以熔渣形式排出。稀、稠，指高熔点夹杂之多少和矿石品位。分汁，指熔渣与熔铜分离。这是我国古代文献中所见关于渣铜分离的较早描述。在此值得注意的是“一火成铜”一语。从字面上看，“一火”当是一次冶炼，但其真实含义则难以确知。《天府广记》卷二二“宝源局·户部尚书侯恂条陈鼓铸事宜”载：“铜矿产于石中，用钢钻打入，每得矿百斤，用木炭百斤，将矿烧炼，一火成铜铅，二火成黑铜，三火成红铜。每矿百斤，上者烧铜十五斤，次者十二、十一斤不等。”此“一火”可能是指一次加热冶炼，但也可能指一个回合的多次加热冶炼。

《滇海虞衡志》卷二引《农部琐录》也谈到过配矿，而且还谈到了矿石焙烧：“煎矿为扯火，配石为底子。多配谓之稀，少配谓之稠。末柴烧矿谓之锻，有经一、二、三锻然后入炉者，谓之锻窑”。此“锻”即煅，当指焙烧，所用当为硫化矿。

（三）关于冶炼操作

《滇南矿厂图略》“炉”第五载：“凡起炉，初用胶泥和盐于炉甑内，周围捬实，曰搪炉。次用碎炭火铺底烘烧，曰烧窝子，约一二时，再用柱炭竖装令满，扯箱鼓风，俟其火焰上透；矿炭均匀，源源轮进炉内。风穴上，卝炭融集成一条如桥衡，通炉皆红，此条独黑，曰嘴子。看后火即看此。扯箱用三人，每时一换，曰换手。用力宜匀，太猛则嘴子红，太慢则火力不到之处，炉不能化，胶结于墙，

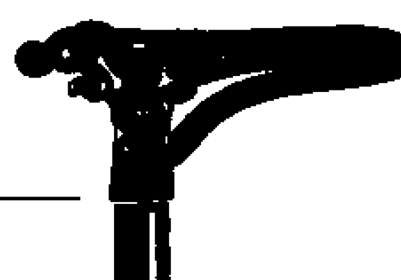
曰生膀。每六时为一班，铜炉二班曰对时火，三班曰丁拐火，四班曰两对时火，六班曰二四火。泼炉则开金门，用爬（耙）先出浮炭渣子，次揭冰铜（原注：一冷即碎，故曰冰，亦曰宾铜）；次用铁条搅汁，拨净渣子，曰开面；次揭圆铜（原注：揭铜或用水，或用泥浆，或用米汤，视丬性所宜）。铜炉无过六班。炉火不顺，丬錦结成一块，曰招和尚头，配合不宜时有之。金门或碎，丬汁飞溅，曰放爆张，每致伤人，幸不常有。铅矿搪炉、烧窝皆同，而扯火紧慢任便。放錦一次，放铅一次，可至七八十班，至炼银罩渣子，亦只一二班。”这里从搪炉、烘炉、装料，到鼓风、出渣、出铜，以及炉龄和常见事故，都作了简要介绍。甚为难得。

《采铜炼铜记》所记冶炼操作又有一些特点，说：“每煅一炉，俗谓之扯火一个，彻丬须四十桶用炭百钧；次丬惟倍加糜炭五之一，下丬三培（倍）而差加糜炭三之一。火候停匀，昼夜一周，渣錦质轻，自金门流出，即从金门中钩去灰烬；铜质沉重，融于炉底，闪烁腾沸，光彩夺目，以渍米水浇之，上凝一层，钳揭而起，用松针糠覈之类掠宕其面，深入水中，即成紫板（原注：凡铜元热敲易碎，其口青色，冷敲惟开，其口红色），或得五六饼、六七饼不等。初揭一二饼，浮滓未净，谓之毛铜。须改煎方能纯净，自三四揭后，则皆净铜矣。其有丬经煅炼结而为团者，丬不分汁之故也。亦有本系美矿亦结为团者，配制失法，火力不均之故也”。在此比较值得注意的是：（1）次矿配炭量须稍有增加。（2）美矿而结为团，主要是配矿不佳、火力不均之故。可见配矿对冶炼过程的影响是很大的。这里又突出地谈到了次矿用炭量和配矿对冶炼过程的影响。

实际冶炼是较为复杂的，“一火成铜”的情况较少。《采铜炼铜记》载：“然一火成铜之厂，寥寥无几。其余各厂，并先须窑煅后始炉融。窑形如大馒首，高五六尺，小者高尺余，以柴炭间丬，泥封其外，上留火口。炉有将军炉、纱帽炉之分。将军炉上尖下圆，其形如胄；纱帽炉上方下圆，形如纱帽，并高二寻。十分高之四为其宽之度，十分宽之四为其厚之度，亦有高一寻者，其宽与厚亦称之，余同大炉。又有蟹壳（炉），上圆下方，高一丈有奇，宽半之，深尺有咫，余亦同大炉。丬之稍易炼者，窑中煨煅二次，炉中煎炼一次，揭成黑铜，再入蟹壳炉中煎炼，即成蟹壳铜，揭淬略如前法。其难炼者，先入大窑一次，次配青白带石入炉一次，炼成冰铜，再入小窑，翻煅七八次，仍入大炉，始成净铜，揭淬亦如前法。计得铜百斤，已用炭一千数百矣，此煎炼之大略也。”此说一般的冶铜皆较复杂，矿须先煅，后熔；依据不同的需要，炼炉有将军炉、纱帽炉、蟹壳炉、大炉等之别；此“蟹壳炉”大约是用于冶炼粗铜或精铜的。较难冶炼之矿，估计也要煅炼10余次，较陆容所述稍少。

**四、铜合金技术的发展和演变**

我国古代的铜合金主要是青铜、白铜、黄铜三种。青铜盛行于先秦时期，汉后由于钢铁技术的发展和社会风尚的变化，其主要用途就逐渐转移到了铜镜、铜钱和响器这三种器物上。人工配制的白铜和黄铜技术的发明年代较青铜稍晚，大体兴盛于宋、明时期；明代中期之后，及至清代，由于黄铜技术的兴起，原本使用青铜制作的铜器，如铜镜[21]、铜钱、铜钟，有的也部分地改用了黄铜，使青铜的使用范围更窄，主要用途就只剩下了锣钹和流行于西南地区的铜鼓等器。今便



通过几种铜器合金成分的演变，来了解清代铜合金技术的发展状况。

（一）铜钟合金技术

钟作为一种响器，自先秦至明，基本上都是锡青铜、铅锡青铜铸制的。清代出现了黄铜钟。有学者分析过康熙三十六年、五十二年和乾隆纪年钟各一件[22]，唯前者属锡青铜，成分为铜75.2%、锡11.15%、铅1.07%；后两者竟皆为黄铜，且成分相当接近，皆可视为锡黄铜，平均值为：铜60.5%、锡2.32%、铅0.65%、锌23.2%。与明代的相比较，此康熙三十六年青铜钟的含锡量稍有降低，其声音当无明代的清脆、悠扬；两件黄铜钟的音色、音质恐难与锡青铜钟相比。但有一点值得注意的是，清代梵钟的含铅量依然是较低的，这是人们对铅的阻尼作用一直保持着清晰的记忆，也说明古人对铅、锡是区分得十分清楚的。

（二）关于铜镜合金技术

先秦至明代，我国镜用合金基本上都是青铜，黄铜只是偶见之例。但1918年日本学者近重真澄分析过2件清代镜[23]，20世纪80年代时笔者也分析过5件清代镜[21]，却清一色都是黄铜质。这大约与清代铜镜已多非实用之物有关。但与明代同样，此时人们依然认为高锡青铜是最佳铸镜合金。清郑复光《镜镜诊痴》（1846年）卷一“镜资”条载：“铜色本黄，杂锡则青，青近白故宜于镜。”此话说得十分透彻。

（三）铜钱合金技术

自先秦到明嘉靖，我国铜钱基本上都是青铜铸制的；明嘉靖之后，及至清代，黄铜钱便占据了主导的地位。乾隆十二年奉敕撰《钦定大清会典则例》卷一二九“工部·鼓铸”载：“（雍正）六年奏准……其钱按照估定成色分别搭配。如九成铜，以铜六铅四配铸，每百斤加铜二十斤；九五铜以铜五五铅四五配铸，每百斤加铜十斤。”“乾隆元年奏准，鼓铸之法，以八成至十成配为五等。如铜系十成者，以铜铅各半；九五者以铜五五，铅四五；九成者，以铜六铅四；八五者，以铜六五铅三五；八成者以铜七铅三搭配鼓铸。”乾隆五年改制为：“除净铜按铜铅百斤内，用红铜五十斤，白铅四十一斤八两，黑铅六斤八两，点铜锡二斤配铸外，九五铜向系铜每百斤加铜十斤，今加五斤；九成铜向加二十斤，今加十斤；八五八成皆照此递行。”[24]引文中的“铅”、“白铅”皆指锌；“黑铅”即铅；“点铜”即配制、调整铜的合金成分，“点铜锡”即配制、调整铜合金成分用的锡（Sn）。从文献所记雍正六年、乾隆元年、乾隆五年[24]、乾隆六年钱[25]，以及咸丰当百大钱、咸丰五十大钱、咸丰当五大钱[26]的配料比来看，清代钱币合金的基本情况是：（1）基本上为铅黄铜和简单黄铜，唯乾隆五年、六年使用过锡铅黄铜。与明天启、崇祯的情况相似。（2）雍正、乾隆时含锌量稍高，除去烧损后，约达30%～38%；咸丰时含锌量稍低，约为20%～25%。

从先秦到明、清，我国金属钱币的合金成分约经历了6个阶段：（1）先秦时期，各国钱币一般含铅量较高，含锡量较低，大约70%的钱币为锡铅青铜和铅青铜，28%左右为铅基合金。前者含铅量达15%～40%，后者高达47%～66%。平均含锡量一般都低于5%，唯I式蚁鼻钱的达10%。（2）汉代钱币含锡含铅量都较低，含锡量相对集中的成分范围是2%～8%，平均4%左右；含铅量相对集中的成

分范围是0~8%，但有少数几件含铅量较高。（3）唐代钱币含锡含铅都有一定提高。平均成分约为铜70%左右、铅16%、锡10%。（4）宋代钱币含铅量又有了提高，北宋钱币含铅量大部分处于20%~30%之间，含锡量较唐代稍有降低，其大部分处于5%~11%之间；南宋钱币平均含铅量达37%左右，含锡量不足4%，而且还出现了少量铅钱(铅基合金钱币)。（5）明代前期钱币含铅量有所降低，嘉靖后出现了黄铜钱。可见，从先秦到明嘉靖，我国钱币的主要合金元素是铅，其含铅量经历了“高—低—高—低”的发展过程。（6）自明嘉靖至整个清代，基本上都是黄铜钱，或以黄铜钱为主。

（四）镍白铜技术的发展

我国古代白铜有砷白铜和镍白铜两种。砷白铜最初是利用共生矿冶炼的，至迟东晋，就发明了人工配制技术。镍白铜始见于东晋或稍早，直到明、清时期，都是以共生矿为基础进行冶炼的，古人未曾炼出金属镍。明、清时期，这两种白铜技术都有了较大发展，有关记载也多了起来，尤其是镍白铜，不但开设了不少冶炼厂，而且在18世纪初，它还传入欧洲，对欧洲化工技术、冶金技术的发展，都起到了一定的促进作用。

我国镍白铜主要产于云南、四川两省交界处。清代四川的白铜产地主要是会理，其在立马河、九道沟、清水河、黎溪等处都设有白铜厂。《清朝通典·食货八》载：“康熙二年（1663年）令四川黎溪、红卜苴二洞白铜旧厂听民开采，输税十九年。”《会理县志·铜政》（同治九年）载：黎溪厂产白铜，乾隆十七年开采，四十九年归会理州管理。额设每双炉一座，抽小课白铜五斤，每年获白铜一百一十斤；内抽大课十斤，每年额报双炉子二百一十六座，各商共报煎获白铜六万三千二三百斤。该书还说立马河、九道沟、清水河皆配制白铜。

清代云南白铜产地主要是今牟定、大姚、武定等县，雍正《云南通志》卷一一、《清朝通典·食货八》、光绪《续云南通志》卷四三、《清一统志·会理州》、《钦定古今图书集成》等都有记载。如《清朝通典·食货八》载：云南“定远县（今牟定县）妈泰、茂密二厂白铜，岁无定额”。《续云南通志》卷四三“食货·矿物”引“旧志”云：“茂密白铜厂子，大姚县属，发红铜到厂，卖给硐民，点出白铜……每炉每日抽白铜二两六钱五分。”

从历史上看，镍白铜的冶炼工艺约有四种：

1. 直接利用共生矿冶炼。这种共生矿在会理力马河、青矿山等处都有分布，早期镍白铜很可能是利用此矿直接炼制的。因古人很难将其中的铜、镍分离开来。

2. 利用镍矿石与铜矿石混炼。同治九年(1870年)《会理县志》卷九载：“煎获白铜需用青、黄二矿搭配。黄矿炉户自行采办外，青矿另有。”这是今见文献中，较早提到镍白铜冶炼工艺的地方。此“青矿”即镍矿，“黄矿”即铜矿。

3. 用镍高锍点炼红铜，或用镍矿石点炼红铜。这主要见于传统技术中。今人于锡猷《西康之矿产》载：“取炉（鹿）厂大铜厂之细结晶黑铜矿与力马河镍铁矿各一半混合，放入普通冶铜炉中冶炼。矿石最易熔化，冷后即成黑块；性脆，击之即碎。再入普通煅铜炉中，用煅铜法反复煅九次，用已煅矿石七成，与小关河镍铁矿三成，重入冶炉中冶炼，即得青色金属块，称为青铜；性脆，不能制器。



乃以此青铜三成，混精铜七成，重入冶炉，可炼得白铜三成；其余即为火耗及矿渣。"[27]这是20世纪40年代初，地质工作者访问清末白铜冶炼匠师的笔录，大体上反映了清末或稍前的白铜冶炼工艺。所用应是一种铜镍硫化矿，整个操作都已相当成熟。冶炼过程约分四步：（1）依1:1的比例，将镍铁矿与黑铜矿混合冶炼。产品即所谓"黑块"，实为"铜镍锍"、"镍冰铜"，是二硫化三镍、硫化亚铜、硫化铁的共晶或共熔体，化学式为 $Ni_3S_2 \cdot Cu_2S \cdot FeS$。这铜镍锍的含铜含镍量较低，铜镍总量大约只有百分之十几（如13%）。（2）将前项产品，即铜镍锍煅炼九次，以去硫，进一步富集铜和镍。其产品依然是一种中间产物。（3）依7:3的比例，将前项产品与小关河所产镍铁矿混合冶炼，产品为"青铜"，当即杂质稍多、含镍亦稍高的铜镍合金，或称为"镍高锍"。（4）依3:7的比例，将此"青铜"与"精铜"（纯铜）混炼，即为镍白铜[28]。前云李时珍和宋应星提到的南番"青铜"，当亦是这种含镍稍高的铜镍合金。

光绪《续云南通志》卷四三引"旧志"说得较为简单："茂密白铜子厂，大姚县属，发红铜到厂，卖给硐民，点出白铜。"说以红铜点出白铜。此"点药"即镍高锍，或镍矿石。今人李春昱在《四川西康地质志》中也谈到过类似的操作："今会理青矿山镍矿，在今会理之南，矿石含镍2%，昔时常与红铜制成合金以作白铜。"[29]

4. 在铜镍合金中加入红铜、黄铜或锌，制作 Cu-Ni-Zn 三元合金。

曹蘉室《中国矿产志略》第39页载："白铜以云南为最佳，其出产亦惟滇最盛。熔化制器时，须预派紫铜、黄铜及青铅若干，搭配和熔以定黄白。若搭冲三色三成，只用真云铜三成，已称上高白铜矣，至真云铜熔化时，亦须帮搭紫铜与青铅，使能色亮而韧。"此"青铅"当为锌；"真云铜"可能是含镍较高的铜镍合金；"上高白铜"当即白度较高的铜镍锌三元合金。"三色"大约是指紫、黄、青。加入锌的目的，看来主要是改善色态等性能。此书约成于1890年，大体上反映了清代晚期及至中期的铜镍锌三元合金配制工艺。

以上四种操作，实际上都是以共生矿冶炼为基础的。前三种产品大约主要是铜镍合金，第四种则是铜镍锌合金。这些工艺的产生和演变年代，目前尚难了解。

大约18世纪前期，镍白铜传到了欧洲。因其色泽如银，且耐腐蚀，很快就引起了广泛的兴趣，许多从事金属研究和生产的人都开始了长期的试炼和仿制。1751年，瑞典矿物学家制作出了金属镍；1823年，英国汤姆逊（E. Thomason）制出了质地与中国白铜相似的合金；大约也在这同时，撒逊尼（Saxony）的冶金家也获得了成功，并于1830年开始设厂炼制；1824年，德国的翰宁格（Hhnninger）兄弟二人亦仿制成功，最初称之为"新银"（Neusilver），后来一些科学文献又称之为"德国银"（German Silver），而且名噪一时。西方人仿制的这些白铜中，既有铜镍二元合金，也有铜镍锌三元合金。由于镍白铜的研究和仿制，一定程度上促进了西方化工业、冶金业的发展[30]。

（五）砷白铜技术的发展

清赵学敏（约1719～1805年）《本草纲目拾遗》卷二"金部·白铜矿"："此乃矿中白铜，质脆；今时用白铜，以赤铜、砒石炼成，有毒，不堪用。"此"白铜

矿”即使铜致白之矿，即镍矿。“矿中白铜”，应指由铜镍共生矿冶炼之白铜，而“以赤铜、砒石炼成”之白铜则是砷白铜。赵学敏说“今时用白铜，以赤铜、砒石炼成”，其意十分明白，说明砷白铜的数量是不少的；唯因其有毒，故不堪入药。可见清代砷白铜技术有了不少发展。

**五、黄金淘冶技术**

清代前期黄金淘冶技术大体上沿用先世的工艺，技术创新较少，但有的记载却更为详细。

对于黄金的产状，明及其之前的文献都作过许多描述，但清初谷应泰《博物要览》卷三所说则更为简明：“胯子金产湖广，湖南北诸郡砂土中，象腊茶腰带胯子。足赤十一成，不须淘炼，自然居颗块，亦生金也”。“豆瓣金产梁州土中，掘土十余丈见方，形圆扁如豆瓣状。足赤十成，土人铸炼成铤，每铤重一两六七钱不等。乃熟金也。”“麦颗金产梁州属县砂石土中，形尖如麦。足赤十成，土人淘炼而成，小铤重三两三四，金亦熟金也。”这说明人们的认识又有了一些深化。“伴金石”是寻找“山石金”的重要线索，明末清初的屈大均在《广东新语》卷一五“货语·金”中也有一段较好的描述：“掘地丈余，见有磊砢纷子石，石褐色，一端黑焦，是为伴金之石，必有马蹄块金。盖丹砂之旁有水晶床，金之旁有纷子石”。磊砢，散落状；纷，杂乱。看来，此纷子石（伴金石）应当是呈散落状、颜色多样的矿石。

清代黄金淘冶中，值得注意的是有关溜槽淘金法的记载更为详明。严如熤（1759～1826年）《三省边防备览》卷九载：“淘金厂，南郑城洋滨临汉江一带沙滩多有之。法用木作淘床，长五尺五六寸，宽二尺七八寸。四周有边，边高三寸许；边内前镶木板一块，长六七寸；后镶木板一块，长二尺许；板前安横木一根，较床长数寸；横木下安柱二根，高三尺许，木柱立定则淘床前低后高。横木之上凿圆孔二，另安二尺余十字木架，架下二小柱，插入横木孔内，使其活动。架缚圆竹筐，高三四寸，径一尺六七寸，将沙倒入筐内，床后把住木架一头，不住掀簸，用水频浇，则沙随水流；金性沉，沉在筐底细缝中，透下木床。其木床除两头镶板，中空三尺许，另安木板一块，厚三寸，其上横刻木槽百十道，宽二三分，深寸余，筐底透出金沙，顺水沉入槽内；另用木匣一个，空一面如簸箕式，然后将槽内金沙扫入木匣，就水中漾摆，沙土摆尽，但存金屑。”这里主要谈了淘金床的结构和淘金的具体操作。1984年时我曾到山东招远金矿调查，类似的方法仍在使用。溜槽式重力浮选法在商代铜岭采铜业中便已使用，宋代有了较为明确的文献记载，但在不同矿物中的演变情况和具体操作则缺乏详明的资料。

接着，严如熤《三省边防备览》卷九还谈到了汞炼金法，以去除不能形成汞齐的金属和非金属夹杂：“再用水银同金屑入硝银罐烧炼，水银成灰，金成小粒，如黄豆大”。此即混汞法取金。类似的方法虽早已出现，但往日的记载从无如此详明。

人们在提取和使用黄金的过程中，对金银合金的性态也有了进一步认识。清朱象贤《印典》卷七“器用·金银”引《游艺杂述》云：“凡造印章，金须精，银须纹，古制皆然。若银潮而金杂，则硬不易刻也。”这与现代技术原理相符。这



大体反映了清代，及其稍前一个时期的认识水平。

**六、铸造技术**

泥型铸造、出蜡铸造、砂型铸造等传统铸造工艺此时都在使用，皆无突破性成就。在清代铸造中，值得一提的是铁范铸造被重新起用，并用到了火炮铸造中。

我国古代的金型铸造始创于先秦时期，两汉便发展到较为兴盛的阶段。唐后渐衰，虽辽、金、元时期仍可看到，但已使用较少。清代晚期，由于一种特殊的需要得以再现。1840 年夏，英帝国主义侵犯我江浙和福建沿海，危在旦夕。嘉兴县丞龚振麟刚好调任宁波军营监制军械，因当时炮多为泥型铸造，既难制且难干，不能应急。龚振麟极具爱国热情，又注意学习近代科学。当时铁范铸造已为世人淡忘，龚振麟遂重新将之发掘出来，并用到了铸炮工艺中，并于 1841 年写成了《铸炮铁模图说》，以求推广。基本原理与汉代铁范铸造是一致的，但工艺上要求更高，铁模（铁范）铸炮因具有省工省时等许多优点，当时便受到了多方面的赞许。

出蜡铸造、砂型铸造等传统铸造工艺基本上是沿用先世的操作。清朱象贤《印典》卷六“镌制·铸印法”引宋王基《梅菴杂志》便谈到过砂型法和出蜡法这两种不同的操作，云：“铸印法有二，一曰翻沙，一曰拨蜡。翻沙以木为印，覆于沙中作范，如铸钱法。拨蜡以黄蜡和松香作印、刻纹、制钮，涂以焦泥，俟干，再加生泥；火煨，令蜡尽、泥熟。熔铜倾入之，则文字钮形，俱清朗精妙”。《印典》成书于康熙六十一年，其中多处引用宋、元事迹。大约在相当一个时期内，这类操作并无多大变化。同书卷七“器用·蜡”条又说：“拨蜡之蜡有二种，一用铸素器者，以松香熔化，沥净，入菜油，以和为度；春与秋同，夏则半，冬则倍。一用以起花者，将黄蜡，亦加菜油，以软为度，其法与制松香略同。凡铸印，先将松香作骨，外以黄蜡拨钮、刻字，无不尽妙。”卷七“泥”条还谈到了蜡模外所用之泥，说：“印范用洁净细泥，和以稻草。（稻草）烧透、俟冷，捣如粉；沥生泥浆调之，涂于蜡上。或晒干，或阴干，但不可近火。若生泥为范，铜灌不入，且要起窠（原注：深空也）。熟泥中，粘糠秕、羽毛、米粞等物，其处必吸（原注：铜不到也）。大凡蜡上涂以熟泥，熟泥之外再加生泥；铸过（之泥）作熟泥用也”。这里着重谈到了蜡料、泥料的配制和有关注意事项，这是十分难得的。尤其是说到了松香，并说不宜用生泥，否则要发气，还说熟料中不可沾有杂物。这自然是生产经验的总结。从现代技术观点看，加入少量松香后，蜡的软化温度相应提高，膨胀系数变小，所以松香加入量的多少是调整蜡料硬度、软化点、热膨胀系数的关键。

清代的熔炼技术也有了一定的发展，一个重要例证是人们对熔炼过程中的金属烧损有了定量认识。清代匠作则例中《铜作用料则例》云：“凡熔化所耗，内务府红铜每斤耗五钱（约相当于 3.125%），黄铜每斤折耗九钱（相当于 5.625%），制造库熔化每斤折耗三两二钱（相当于 20%），今拟红铜每斤折耗五钱，黄铜每斤折耗九钱。”[31] 此以内府之烧损量作为工艺规范，与现代熔炼烧损大体处于同一水平。

**七、金属加工技术的发展**

清代金属工艺基本上沿袭了前代的一些操作，创造性成就不多。下面先介绍

几种特殊器物的加工，再一般性地介绍几种加工工艺。

（一）铁炮锻造技术

我国管形火器锻造技术始见于明，清代又有了进一步发展。清魏源（1794～1857年）《海国图志》卷五五引江苏候补知府黄冕《炸弹飞炮说》："如欲以少胜多，须讲究小炮可容大弹之法，因又精益求精，别制捷胜小炮，不用铸造而用打造，不用生铁而用熟铁，方能使炮身薄而炮膛宽。缘生铁铸成，每多蜂窝涩体，不能光滑，难于铲磨，故子弹施放不能迅利。至熟铁则不可铸，而但可打造。""每五斤熟铁方能炼成一斤，坚刚光滑无比……铁经百炼，永无铸造之炸裂，施用灵活，尤胜巨炮之笨重。"这里全面地比较了铸件和锻件的优缺点。说锻制火炮"坚刚光滑无比"。

（二）铁索桥工程的进步

明、清时期，我国西南一些峡谷峻深、水流湍急处架设了多座大型铁索桥。清代较为著名的是四川泸定桥等。

大渡河泸定桥建于康熙四十五年（1706年）。清张晋生等《四川通志》卷三九"艺文志"载清圣祖玄烨所制碑记云："入炉（打箭炉）必经泸水，而渡泸向无桥梁。巡抚能泰奏言：泸河三渡口，高崖夹峙，一水中流，雷犇矢激，不可施舟楫。行人援索悬渡，险莫甚焉。"于是呈请在名叫安乐的地方，"仿铁锁桥规制建桥"。诏从所请。"桥东西长三十一丈一尺，宽九尺，施索九条。索之长视桥身余八丈而赢。覆板木于上，而又翼以扶栏，镇以梁柱。皆熔铁以庀事。桥成。""爰赐桥名曰泸定。"据今之测量，桥东西长约103米，宽约2.8米，桥面计9根铁链，铁链直径3厘米。

（三）铁画工艺的发展

铁画工艺在清康熙、乾隆时期有了较大发展，并出现了汤天池、梁应达两位著名的工艺大师[32]，他们皆有作品留传至今[33]。

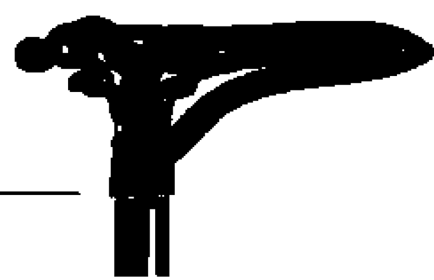
汤天池，芜湖人，原籍溧水[32]，约生活于清顺治到康熙间。陈春华等《(嘉庆)芜湖县志》卷一载："有锤铁为画者，冶之使薄，且缕析之，以意屈伸，为山水、为竹石、为败荷、为衰柳、为蜩塘(螗)、郭索，点缀位置，一如丹青家，而无襞积皴皵之迹。康熙间，有汤天池者，刱为此，名噪公卿间。今咸祖其法，虽制作远逊汤，而四方多购之，以为斋壁雅玩。"梁山舟《铁画歌序》说，汤氏铁画的特点是"尤工山水大幅，积岁月乃成"。邓之诚《骨董琐记》卷一"铁画"称其为"炉锤之巧前此未有"，这都说明汤天池对铁画技艺的贡献是较大的。

梁应达，安徽建德人，约生活于清乾隆年间，据金浚《梁应达像生志》载，其原以冶铁为生，业余时"为花鸟虫鱼无不肖，久乃益工，遂擅绝技"。其艺术和技巧，皆在汤天池之上[32]。

铁画的发展，一定程度上反映了清代金属加工技术的发展和匠师们的艺术才华。青花瓷应是国画艺术在瓷器上的应用，铁画则应是水墨丹青艺术在铁器上的反映，时兴时衰，一直流传至今[34]。

（四）拉拔技术的发展

清代的拉拔技术有了进一步发展。广东罗定、佛山的拉拔生产已具一定规模，



尤其是佛山，其产品无处不在。《广东新语》卷一五“货语·铁”：“诸冶惟罗定大塘基炉铁最良，悉是皆铁，光润而柔，可拔之为线，铸镬亦坚好。”陈炎宗《乾隆佛山忠义乡志》卷六“乡俗志”：“铁线：有大缆、二缆、上绣、中绣、花丝之属，以精粗分。铁锅贩于吴、越、荆、楚而已，铁线则无处不需，四方贾客各辇运而转鬻之，乡民仰食于二业者甚众。”《民国佛山忠义乡志》卷六也有类似的说法。

（五）焊接技术的发展

焊接技术在明、清两代都有一定发展，不但许多文献都记载了焊料的配方，而且还记述了一些具体操作。铜焊和银焊内容有了扩展，并有了汞齐焊的记载[35]。

清郑复光《镜镜诊痴》（1846年）卷四更说到了多种焊料的配方，及其基本操作。对焊接强度要求较高的一般铜器，当用“铜大焊方”，配比为：“莱花铜一斤（顶高之铜），白铅半斤，纹银一钱八分。合化，然后入点锡四钱八分，速搅匀即得”。此“点锡”即锡，同书同卷在谈到磨镜药时，说过要“上好生点锡”。可知此大焊方实为Cu－Zn－Sn－Ag四元合金，经计算，配料比为：铜64.88%、锌32.44%、锡1.95%、银0.73%。这大体上反映了清代中期的一些情况。

由于炼锌技术的发展，金属锌也较多地被使用到了焊料中。清末刘岳云《格物中法》卷五下引《鄙事缀纪》云：“钎药有老嫩不同，或红铜三分白铅一分，或黄铜八分白铅一分，或黄铜六分白铅一分，或黄铜四分白铅一分。”此“黄铜”含义不明，当为铜锌合金或红铜。上述焊药似为Cu－Zn二元合金。《格物中法》出版于光绪二十五年（1899年）。

对于较为讲究的铜器，如钟表等，则可用“四六银焊药”。《镜镜诊痴》卷四云：“钟表焊药，以银焊为良方，用莱花铜六分、纹银四分，则老嫩恰好。”这种焊料在清代广储司磁器库铜作中也曾使用，如“造红铜钮，头号至二号，每百个用四六银焊药一钱二分，硼砂二钱四分，乌梅四两。三号至七号，每百个四六银焊药一钱，硼砂二钱，乌梅三两五钱”[31]。此“乌梅”为去污剂。

对焊接强度要求不是太高的铜器，也可使用汞齐焊。《镜镜诊痴》卷四：“铜小焊方：取水银先用香油制死，然后入高锡参匀，以备临时用。”此焊料显然是锡汞齐。同书同卷又载，对焊接强度要求较高的器物，则可用“锡大焊方”，其比例为锡六汞一，其也是一种汞齐焊。基本操作是：先将焊接口清理干净，将汞齐填于接口处，汞挥发后，存留之锡便自然将之固结起来。通常的硬钎焊和软钎焊都是在高温下进行的，此汞齐焊实与室温软钎焊相当。其发明时间待考，迄今民间仍有使用。

此时人们对焊料成分的选择也有了较深认识。《镜镜诊痴》卷四又载：“锡工小焊，低锡不可宜也，高亦不可，何也？盖焊，必较本身易化；故金银工焊用银参铜及硼砂，铜镇焊用焊药参（掺）硼砂，铜小焊用高锡参水银，锡大焊用次锡、水银参松香，锡小焊用次锡参松香，咸取其易化也。”此说大体上都是对的，亦与现代技术原理相符。

我国古代的狭义焊接约可区分为软钎焊、硬钎焊、汞齐焊三种。前者的焊料主要是锡和铅锡合金。次者的焊料有银基合金和铜基合金，铜基合金又包括红铜、响铜，以及多元铜合金等。“汞齐焊”的焊料是水银和锡，其大体与室温钎焊相

当。我国古代的焊接操作主要有三种，即浇焊、点焊、汞齐焊，后两种迄今民间仍可看到[35]。

## 第三节 制瓷术的黄金时代

清代前期是我国古代制瓷技术全面发展的阶段，凡明代已有的工艺和产品，此时大多数都有了提高或创新，并在更大程度上满足了国内外市场的需要。

此时的制瓷业依然以景德镇为中心，御器厂仍占据重要地位。清代初年时，由于满清贵族的蹂躏和战乱，景德镇瓷业一度陷入停滞状态，顺治时曾多次下诏烧造，均未获成功，但到康熙十九年前后，却得到了迅猛的发展。清代前期的制瓷技术，习惯上是指康熙、雍正、乾隆三朝制瓷技术，这是我国瓷器生产的黄金时代，也是我国古代瓷器生产的高峰期，嘉庆之后渐衰。

清代民窑也有了较大发展，不管规模还是产品质量，都有了扩展和提高。唐英《陶冶图说·祀神酬愿》载："景德一镇，僻处浮梁邑境，周袤十余里，山环水绕中央一洲，缘瓷产其地，商贩毕集，民窑二三百区，终岁烟火相望，工匠人夫不下数十余万。"[1]此"区"当即座意①。此"数十余万"或有些夸张，但民营业甚为繁华是肯定的。清代御器厂的官窑器，通常只供宫廷使用，除了帝王赏赐外，一般官僚和皇亲国戚皆不易从御器厂直接得到官窑制品，故满汉贵族所用优质瓷器多数皆产自民窑，尤其是其中的"官古器"窑。《景德镇陶录》卷二"国朝御窑厂·镇器原起·官古器"条云："此镇窑之最精者，统曰官古，式样不一，始于明，选诸质料精美细润，一如厂官器，可充官用，故亦称'官'。今之官古有混水青者，有淡描青者，有兼仿古名窑沏者，若疑为宋之汴杭官窑则误。"稍次的还有"假官古器"、"上古器"等窑。清代的"官搭民烧"也十分盛行，康熙十九年后，竟成了一种固定制度，所以许多官窑产品实系民窑烧造。不少民窑产品，尤其是青花瓷，质量是较好的。有清一代，青花器皆以康熙民窑最为上乘。

在陶瓷技术发展的同时，清代还出现了多部关于陶瓷工艺的专著。其中比较值得注意的有唐英《陶冶图说》、蓝浦《景德镇陶录》、朱琰《陶说》、佚名《南窑笔记》等。《陶冶图说》成书于乾隆八年（1743年），此前，宫廷画师孙祜、周鲲、丁观鹏绘有陶冶图20幅，反映了从瓷石开采、练泥、配釉、成型、施釉、烧成到包装的全过程，原图藏于内廷，且无编次。乾隆八年四月，唐英奉命将图像编排，并一一作了文字说明，成为《陶冶图说》一书。唐英为内务府员外郎，曾管理九江关务。朱琰《陶说》成书于乾隆三十二年（1767年），凡六卷，卷一主要辑录唐英《陶冶图说》的基本内容，并附朱琰按语；卷二述说陶瓷起源和历代名窑，时间从远古至宋；卷三"说明"，主要介绍了景德镇窑及其工艺操作；卷四、五、六，记述了先秦至明代的各种陶瓷器。该书既引经据典，又不乏作者独到的见解，可说是我国古代第一部陶瓷技术史专著。《景德镇陶录》计10卷，其

① 区，原为"小屋"意。《汉书》卷六七"胡建传"："穿北军垒垣，以为贾区。"注："区者，小室之名，若今小庵屋之类耳。"



中第二至第九卷系蓝浦于乾隆末年原著；第一卷及第十卷为嘉庆间郑桂廷补辑。其卷一多采摘于《陶冶图说》，其余各卷述说明、清两代景德镇陶务、产销情况。《南窑笔记》约成书于雍正年间，作者佚名，记述明代及清代乾隆以前景德镇烧造瓷器的情况，对各期官窑的成就，胎、釉配制，以及成型、彩绘、烧造技术，皆所述甚详，且较为确切。

清代前期景德镇制瓷技术的主要成就是：瓷胎含铝量明显提高；石灰—碱釉更为成熟，并发展成了碱—石灰釉；作为釉下彩的釉下青花和釉里红，以及釉上彩技术都得到了进一步发展，内容亦更为丰富。康熙青花色泽鲜艳、纯净；因釉上蓝彩和墨彩的发明，康熙五彩更为多样，单色釉技术亦有了较大进步，传统青釉和铜红釉发展到更为成熟的阶段；一些仿宋瓷亦达到了相当高的水平；创造了胭脂红、珊瑚红、乌金釉，把清代瓷器打扮得五光十色，琳琅满目。景德镇又发明了蛋形窑，烧造技术进一步提高。

**一、胎料选择加工技术之提高**

主要表现是景德镇瓷胎的二元配方更加娴熟。其二元配方法始创于元，但元、明两代的景德镇瓷胎含铝量提高不多，清代之后才有了明显增长。这表明其选料、配料、加工等一系列技术都有了较大的进步。

（一）原料选择和加工技术的进步

关于清代景德镇瓷胎的二元配方，唐英《陶冶图说》、朱琰《陶说》、蓝浦《景德镇陶录》等都有说明。《陶冶图说·采石制泥》云："惟陶利用范土作胎，其土须采石炼制。石产江南徽郡祁门县，距窑厂二百里，山名坪里、谷(葛?)口，二处皆产白石；开窑采取，剖有黑花如鹿角菜形。土人借溪流设轮作碓，舂细淘净，制如砖式，名曰'白不'，色纯质细，制造脱胎、填白、青花、圆琢等器。别有高岭、玉红、箭滩数种，各就产地为名，皆出饶州府属各境。采制法同'白不'。止可供搀合制造之用，于粗厚器皿为宜。"此"鹿角菜"系藻类，生于岩石之上，可食。这里主要说到了三个问题：（1）瓷石和高岭的产地，前者主要产于徽州祁门县坪里和谷(葛?)口二处，后者主要产于饶州府境内的高岭村等地。（2）瓷石的特征是"剖有黑花如鹿角菜形"；另一种原料有高岭、玉红、箭滩数种。（3）瓷石须以水碓舂细淘净，制如砖式，名为"白不"（音敦）。高岭的制法亦同"白不"。（4）制瓷胎时，须两瓷石和高岭掺合使用。

制胎之泥还须"淘练"。同书"淘练泥土"条载："造瓷首须泥土，淘练尤在精纯……淘练之法，多以水缸浸泥，木钯扰标（漂），起渣沉过，以马尾细箩（罗），再澄双层绢袋，始分注过泥匣钵，俾水渗浆稠。用无底木匣，下铺新砖数层，内以细布大单，将稠浆倾入，紧包砖压吸水，水渗成泥，移贮大石片上，用铁锹翻扑结实以便制器。凡各种坯胎不外此泥，惟分类按方加配材料以别其用。"这里谈到了淘练胎泥的基本操作过程，引文前段所说便是"淘"，"用铁锹翻扑结实"便是"练"。"淘"和"练"，都是原料加工的重要工序。所云与《天工开物》基本一致，但这更为简明、准确，如其泥不但要澄清，而且要过马尾细罗，再入双层绢袋过滤。说明清代早期或稍前，景德镇便形成了一套较为完整的原料选择、加工技术规范。

（二）从科学分析看配料技术的进步

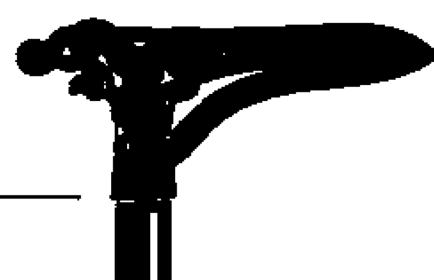
周仁等人分析过17件景德镇清代瓷器，分属康熙、雍正、嘉庆、光绪时期，平均成分为：$SiO_2$ 67.95%、$Al_2O_3$ 25.53%、$Fe_2O_3$ 1.10%、$TiO_2$ 0.09%、CaO 0.7%、MgO 0.19%、$K_2O$ 3.07%、$Na_2O$ 1.48%[2]-[5]。其特点是：(1) $Al_2O_3$ 量较高，介于20.17%（雍正祭红瓷）~30.51%（雍正浆胎青花盘）间。前云景德镇8件明代瓷器的 $Al_2O_3$ 平均值仅为21.25%。(2) $Al_2O_3$ 量分布较为集中，在17件标本中，相当部分处于26%~29%间，占标本总数的47%。有学者估计雍正浆胎青花盘的高岭土配入量可达60%[5]。(3) $SiO_2$ 量较低。从历史上看，景德镇瓷胎的平均 $SiO_2$ 量是逐渐降低的。五代和宋代稍高，分别为76.22%和74.55%；元、明两代明显降低，分别为73.16%和72.24%；清代又有所降低，为67.95%。(4) 景德镇历代制瓷原料含铁量都不低，清代一件雍正仿哥窑青瓷竟达4.16%，即使将之剔除，其余16件清代瓷器的平均值亦达0.9%。而其多以FeO形式存在，说明直到清初，景德镇瓷器仍在较强的还原性气氛中烧成[2]，故其胎总是泛黄且泛青的。

在相当长一个时期内，浙江瓷胎基本上是采用单一瓷石、瓷土为原料的，为提高胎质强度，以适应制造大型器物的需要，匠师们曾采用过两种较为有效的方法：(1) 选用风化程度较深，即高岭化程度较高的瓷石为胎料；(2) 精细淘洗，以提高高岭，减少粗粒石英的含量。景德镇在明代以前大约也采用过单一瓷石制胎，其所含高岭石、石英、绢云母皆较适中，从而具有了较好的成瓷特性；明代之后便采用了二元配方法，使瓷胎成分控制自如。二元配方的采用，为景德镇瓷器品种的增加打下了良好的基础[5]。

（三）关于传统制瓷技术中的原料选择和加工

20世纪50年代，有关学者对景德镇传统制瓷技术进行了许多调查，得知其制瓷原料亦主要是瓷石和高岭两种。瓷石是一种岩石，其色白中泛黄、泛绿、泛灰或稍泛绛红；主要产于浮梁、窑里、祁门等地。有的瓷石又可用于制釉，故又谓之釉石。瓷石开采后，须以水碓舂细，再淘洗、沉淀，并制成砖状，名为“不子”、“白不子”。瓷石的矿物成分主要是绢云母、石英，以及少量的长石和方解石等。窑里瓷石所含长石较少，因绢云母化作用，它几乎全都变成了绢云母。“高岭”是一种白色粘土，但非纯白，而是泛灰、泛黄，矿物成分主要是“高岭石”，此外还有多量的石英和绢云母。“高岭石”是矿物学名词，化学式为 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$。高岭在矿区采集后须经淘洗，以去除大部分石英和云母，之后再沉淀、制块、晾干[6]。景德镇制瓷原料含铁较高，尤其是高岭，多在1%以上。

胎泥由高岭和瓷石（不子）配合而成。从清代官窑到20世纪60年代，明砂高岭和祁门不子配成之胎泥皆是制造上等瓷器的原料。其配比与器物之大小、形状、厚薄、烧成条件等都有一定关系；波动范围是：30%高岭和70%瓷石（不子），到60%高岭和40%瓷石（不子）。高岭配比增加，烧成温度提高，更宜于制作大型、薄壁器件。瓷石产地较宽，各地瓷石的成分和性质亦有差异，有时须多种瓷石混合使用[6]-[9]。外国瓷胎多用粘土、石英、长石三物配成，这与我国是不同的。



二、成型技术的发展

我国古代瓷器成型主要有拉坯法、模印法、手制法三种，它们可单独使用，也可混合使用。在清代，这些成型方式都发展到了顶峰。

《景德镇陶录》卷一“做坯”条曾提到了多种做坯工艺，其云：“圆器之制，其方稜者则有镶、雕、印、削之作；而浑圆之器，必用轮车拉成。大者拉一尺以上，坯小者拉一尺以内。坯车如圆木盘，下设机局，旋转甚便。拉者坐于车上，以小竹竿拨车使疾转，双手按泥，随拉之千百不差毫黍。若琢器其浑圆者，亦如造圆器法，其方稜者则用布包泥，以平板拍练成片，裁方粘合，各有机巧”。

这里提到的清代景德镇瓷器做坯法有：

1. 拉坯法。浑圆之器纯用拉坯法，琢器亦有使用。

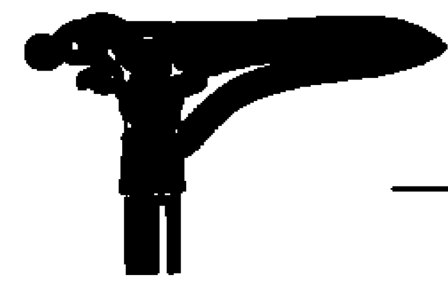
2. 琢器法。用于形状较为复杂，不能完全依靠陶车，而要兼用手工来帮助成型的器物；其中的方形、带棱角者，均须藉助于手工，以胎泥拍练成片，以刀裁切，以原泥调匀粘合。《陶冶图说》也曾说到过琢器，且说得更为详细：“瓶、尊、罍、彝皆名琢器。其浑圆者亦如造圆器之法，用轮车拉坯。俟其晒干，仍就轮车刀旋。定样之后，以大羊毛笔蘸水洗磨……其镶方棱角之坯，则用布包泥，以平板拍练成片，裁成段，即用本泥调糊粘合”。从传统技术调查来看，琢器的拉坯操作与普通圆器基本相同，所相异者是：（1）其所用胎泥含水量稍低，故坯之强度稍高。（2）不做印坯加工，毛坯件内外表面皆用利坯法旋削。（3）毛坯远较成品为厚，须再用轮车进行旋削加工，毛坯要留有较大的加工余量[6]。故琢器法中有拉坯成型，也有手工成型。

3. 镶雕法。实际上皆用手工成型。文中只提到了它的名称，却未细谈。在传统技术中，方形、六角形等带有棱角的瓷器，以及壶把、壶嘴等配件，皆用镶雕法。镶，原指镶接；雕，原指雕镂。具体操作是：先将胎泥在麻布上拍练成片，之后依需切割，之后再用泥浆镶接，最后修整[6]。

4. 模印法。此引文中只提到了一个“印”字，未曾细说。《陶冶图说》“琢器做坯”条也曾提及，云：“另有印坯一种，系从模中印出，制法亦如镶方”。其“图器修模”条还从烧成收缩的角度，谈到了修模的必要性和注意事项，云：“圆器之造，每一式款，动经千百，不模范，式款断难画一。其模子必须与原样相似，但尺寸不难(能?)计算、放大，则成器必较原样收小。盖成坯泥松性浮，一经窑火，松者紧、浮者实，一尺之坯止得七八寸之器，其抽缩之理然也。欲求生坯之准，必先模子是修，故模匠不曰造，而曰修。凡一器之模，非修数次，其尺寸、款式烧出时定不能吻合。此行工匠务熟谙窑火、泥性，方能计其加减以成模范。景德一镇，群推名手，不过三两人”。从传统技术调查看，模印法还常用于批量生产的像生瓷(如佛像类)，其模子为黄泥制成，分上下两片，胎泥压成片后分别在模内压制成型，之后再镶接成像，头、手部用另外的模子压成后镶上。瓷质佛像以德化窑最佳。但瓷像之极佳品都是名家巧手雕成[6]。

三、碱—石灰釉的发展和吹釉技术的发明

由大量科学分析资料看，由商、周到明、清，我国高温瓷釉中的 CaO 量经历了一个“高—低—高—低”的发展过程；良渚文化时期稍高，达 16.58%（1 件，



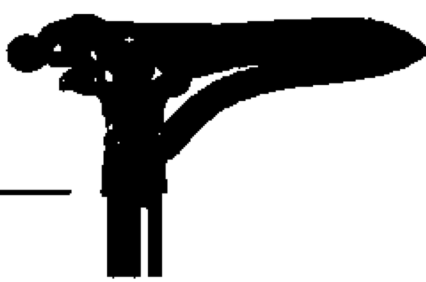


宜兴出土)[10]，夏、商代较之稍低，平均8.88%（14件，上海马桥、山西垣曲、江西鹰潭角山、清江樊城、河北藁城、广东饶平、河南郑州出土)[11]；周代稍有升高，且直到唐代为止，一直保持在较高水平上。周代平均11.08%（18件，河南洛阳、浙江德清、江山、上虞、绍兴和江西吴城、山西侯马出土)[11]；东汉平均17.65%（3件，浙江上虞出土)。三国至南朝青釉的平均为17.85%(13件)，唐代青瓷釉的 CaO 量依然较高，浙江青釉平均达17.21%（3件），耀州窑青釉达16.51%(3件)。及宋，釉中 CaO 量才开始下降。北宋至南宋早期的黄绿色青釉(2件）的 CaO 量为14.52%；南宋晚期不同形态的青釉(7件）平均含量为10.0%。元代龙泉青釉大体上亦处于这一水平。可见宋代以前的瓷釉，多数都属石灰釉，釉中主要熔剂是 CaO，它可能是由单一的石灰石原料，也可能还引入了其他富 CaO 原料制备的；宋代之后，釉中 $K_2O$、$Na_2O$ 量明显增加，故部分德化白瓷，半数龙泉白胎青瓷釉都为石灰—碱釉；元代之后，以景德镇为代表的瓷釉技术不断提高，使碱—石灰釉在清代获得较大发展。此 CaO 量的下降与胎中 $Al_2O_3$ 量的提高是相应的，对于提高釉层白度和光洁度都有较大帮助。

有学者分析过13件景德镇清代前期瓷釉化学成分,[2][3][5]分属康熙、雍正、乾隆三朝，有白釉、黑釉、红釉等；几种熔剂的平均成分为：CaO 7.17%、MgO 0.42%、$K_2O$ 3.46%、$Na_2O$ 1.96%(表9-3-1)。可见其 CaO 量较低，而 $R_2O$ 量却较高(5.42%)。经计算，此 RO 的平均成分的釉式分子数为0.669，属石灰—碱釉。值得注意的是，不同的瓷品，釉的种类是不同的。依同样的方法计算，康熙青花釉(C2)，其 RO 的釉式分子数为0.545，康熙厚胎五彩花觚里釉（C11）的相应数为0.388，雍正薄胎粉彩碟白釉(C15)的相应数为0.47，雍正祭红釉的相应数为0.78(表9-3-2)；依此，此4件釉片便有2件碱—石灰釉，1件石灰—碱釉，1件石灰釉。其他标本未再一一计算。从所含 CaO 量估计，此13件釉片当以石灰—碱釉为多，碱—石灰釉大约只有2件，石灰釉则有2件(含 CaO 量大于13%者)或2件以上。但总体上看，清代瓷釉 CaO 量是降低了的，碱—石灰釉的比例则有了一些增加，其措施当主要是釉灰(石灰+草木灰)配入量减少，釉石(瓷石)配入量增加，使釉中 $K_2O$、$Na_2O$ 量提高。有关研究认为，五代至宋，景德镇釉灰用量约为15%~30%，釉石用量则为70%~85%；元、明时期，釉灰用量降至20%以下，多在4%~13%之间，清代多在2%~10%之间。一般而言，用于配釉的瓷石风化较浅，其中含有较高的 $K_2O$ 和 $Na_2O$，以此便可减少 CaO 量，这有助于提高釉的烧成温度和扩展烧成温度范围[5]。

表9-3-1　　景德镇清代瓷釉成分

| 样号 | 名称 | 成分(%) | | | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | PbO | MnO | $TiO_2$ | $P_2O_5$ | |
| C11 | 康熙厚胎五彩花觚里釉 | 77.82 | 11.81 | 0.80 | 2.17 | 0.47 | 4.07 | 2.25 | 0.21 | 0.016 | | | | [2] |
| C14 | 康熙中胎五彩盘白釉 | 70.79 | 14.94 | 0.97 | 5.47 | 0.75 | 3.16 | 2.63 | 0.06 | | | | | [2] |
| C17 | 康熙中胎斗彩盘盘花釉 | 67.92 | 15.66 | 1.20 | 7.11 | 1.06 | 4.11 | 2.14 | 0.16 | 0.018 | | | | [2] |
| C1 | 康熙青花釉 | 70.22 | 14.25 | 0.79 | 9.12 | 0.22 | 3.03 | 2.28 | | | 0.12 | 0.11 | 0.10 | [3] |
| C2 | 康熙青花釉 | 73.48 | 15.38 | 0.96 | 3.82 | 0.33 | 3.97 | 1.34 | | | 0.14 | 0.34 | 0.09 | [3] |



（续表）

| 样号 | 名称 | 成分(%) | | | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | PbO | MnO | $TiO_2$ | $P_2O_5$ | |
| C6 | 雍正青花瓷釉 | 70.54 | 14.43 | 0.74 | 8.90 | 0.21 | 2.98 | 1.36 | | | | | | [3] |
| C15 | 雍正薄胎粉彩碟白釉 | 72.09 | 14.71 | 1.39 | 3.54 | 0.45 | 4.61 | 2.25 | 0.24 | 0.08 | | | | [2] |
| | 雍正祭红釉 | 62.54 | 15.45 | 1.09 | 13.85 | 0.29 | 2.35 | 3.01 | 0.58 | | | | | [5] |
| | 雍正仿哥窑青釉 | 69.51 | 16.36 | 1.34 | 6.08 | 0.32 | 3.96 | 1.96 | | | | | | [5] |
| | 雍正粉青釉 | 63.94 | 15.58 | 1.71 | 13.23 | 0.34 | 2.83 | 1.30 | 0.15 | | 0.21 | 0.18 | 0.09 | [5] |
| | 乾隆祭红釉 | 64.88 | 16.00 | 2.20 | 10.17 | 0.69 | 4.13 | 1.50 | 0.30 | | | | | [5] |
| C7 | 乾隆青花瓷釉 | 70.09 | 17.63 | 0.83 | 7.20 | 0.22 | 3.13 | 0.90 | | | | | | [3] |
| C8 | 乾隆青花瓷釉 | 76.09 | 14.39 | 0.92 | 2.11 | 0.14 | 2.67 | 2.61 | | | 0.27 | 0.25 | 0.08 | [3] |
| 平均成分(%) | | 70.46 | 15.12 | 1.15 | 7.17 | 0.42 | 3.46 | 1.96 | | | | | | |

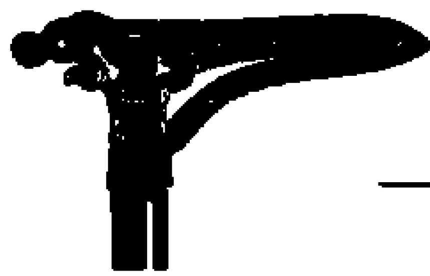
注：（1）原分析者说明：试样 C11 因釉层太薄，取样时可能已有部分瓷胎混入了釉样中。

（2）除表中所列，标本 C1 含 CoO <0.11%、标本 C8 含 CoO 0.05%。

表 9－3－2　　清代瓷釉碱土金属和碱金属氧化物的釉式分子数计算

| 样品名称或编号 | 分子数类别 | 氧化物及其分子量 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CaO 56.08 | MgO 40.32 | $K_2O$ 94.19 | $Na_2O$ 61.99 |
| 13 件清代景德镇瓷釉平均成分 | 重量百分比的分子数 | 7.17/56.08 =0.12785 | 0.42/40.32 =0.01042 | 3.46/94.19 =0.03673 | 1.96/61.99 =0.03162 |
| | $(RO+R_2O)$为 1 时釉式中的分子数 | 0.12785/0.20662 =0.61878 | 0.01042/0.20662 =0.05042 | 0.03673/0.20662 =0.17778 | 0.03162/0.20662 =0.15302 |
| C15 | 重量百分比的分子数 | 3.54/56.08 =0.06312 | 0.45/40.32 =0.01116 | 4.61/94.19 =0.04894 | 2.25/61.99 =0.03630 |
| | $(RO+R_2O)$为 1 时釉式中的分子数 | 0.06312/0.15952 =0.39570 | 0.01116/0.15952 =0.06996 | 0.04894/0.15952 =0.30680 | 0.03630/0.15952 =0.22753 |
| C2 | 重量百分比的分子数 | 3.82/56.08 =0.06812 | 0.33/40.32 =0.00818 | 3.97/94.19 =0.04215 | 1.34/61.99 =0.02162 |
| | $(RO+R_2O)$为 1 时釉式中的分子数 | 0.06812/0.14007 =0.48632 | 0.00818/0.14007 =0.05843 | 0.04215/0.14007 =0.30092 | 0.02162/0.14007 =0.15433 |
| C11 | 重量百分比的分子数 | 2.17/56.08 =0.03869 | 0.47/40.32 =0.01166 | 4.07/94.19 =0.04321 | 2.25/61.99 =0.03630 |
| | $(RO+R_2O)$为 1 时釉式中的分子数 | 0.03869/0.12986 =0.29798 | 0.01166/0.12986 =0.08976 | 0.04321/0.12986 =0.33275 | 0.03630/0.12986 =0.27951 |
| 雍正祭红釉 | 重量百分比的分子数 | 13.85/56.08 =0.24697 | 0.29/40.32 =0.00719 | 2.35/94.19 =0.02495 | 3.01/61.99 =0.04856 |
| | $(RO+R_2O)$为 1 时釉式中的分子数 | 0.24697/0.32767 =0.75372 | 0.00719/0.32767 =0.02195 | 0.02495/0.32767 =0.07614 | 0.04856/0.32767 =0.14819 |

《陶冶图说》“炼灰配釉”条说：“陶制各器，惟釉是需；而一切釉水，无灰不成其釉。灰出乐平县，在景德镇南百四十里。以青白石与凤尾草迭叠烧炼，用水淘洗即成釉灰。配以白不细泥，与釉灰调合成浆，稀稠相等；各按瓷之种类，以成方加减。盛之缸内，用曲木棍横贯铁锅之耳，以为舀注之具，其名曰盆。如泥十盆灰一盆，为上品瓷器之釉；泥七八而灰二三，为中品之釉；若泥灰平对、灰多于泥，则成粗釉。”此“凤尾草”即蕨蓝草，羊齿科，俗名狼鸡草。“白不细泥”，即经舂捣、淘洗过的极细瓷石粉。这里主要谈到了 4 个问题：即釉灰产地、釉灰制法、釉的配法和比例。类似的配釉法在我国一直保留到了 20 世纪。此上品釉，即 CaO 较低，$K_2O$ 和 $Na_2O$ 量较高者；下品釉，即 CaO 较高，$K_2O$ 和 $Na_2O$ 量较低者。





清代施釉技术取得了很大进步，在继续沿用蘸釉法、荡釉法的同时，还发明了吹釉法，有关记载在清代多种文献中都可看到。《陶冶图说·蘸釉吹釉》载："圆琢名器，凡青花与观（官）、哥、汝等，均须上釉入窑。上釉之法：古制，将琢器之方长棱角者，用毛笔拓釉，弊每失于不匀。至大小圆器及浑圆之琢器，俱在缸内蘸釉，其弊又失于体重多破坏，全器倍为难得。今圆器之小者，仍于缸内蘸釉，其琢器与圆器大件俱用吹釉法。以径寸竹筒截长七寸，头蒙细纱蘸釉以吹；俱视坯之大小，与釉之等类，别其吹之遍数，有自三四遍至十七八遍者，此蘸釉所由分也。"此主要谈到了三个问题：（1）旧日施釉法主要是刷釉法和蘸釉法。其缺点，刷釉法是每失于不匀，蘸釉法则易于损坏。因器坯为泥质，且往往较重。（2）今制，即乾隆时，小圆器仍用蘸釉法，琢器与大圆器改用吹釉法。（3）吹釉法的基本操作是以小竹管蒙纱蘸釉以吹。由这段记载看，吹釉当系清代发明，这是清代制瓷技术上的一项重要成就，它较好地解决了大型复杂器物施釉不匀的问题。《景德镇陶录》卷一"图说·荡釉"条所云文字稍简，内容基本一致①。《陶说》卷一引《陶冶图说·蘸釉吹釉》，朱琰按："旧器釉重，大抵蘸釉，不急能匀，重复蘸之，故莹厚者多也。""吹釉之法，补从前所未有，用之良便。"这也说到了蘸釉法的缺点，亦认为吹釉法是前所未有的。《景德镇陶录》卷三"陶务条目"说陶有窑，窑有户，户有工，并谈到了户的20多个工种，其中便有一个"上釉工"，并说"有蘸上者，有吹上者"。同卷"仿古各釉色"条在谈到吹釉时，还有"吹红釉"和"吹青釉"之别。可见吹釉法在清代已较普遍，且分工较细，也说明其已发展到了较为完善的阶段。

**四、彩瓷技术的进一步发展**

彩瓷技术在明代已取代了单一色釉瓷的主导地位，清代又有了进一步提高，不管釉下彩还是釉上彩，都发展到了娴熟的阶段。

（一）釉下彩技术

1. 釉下青花

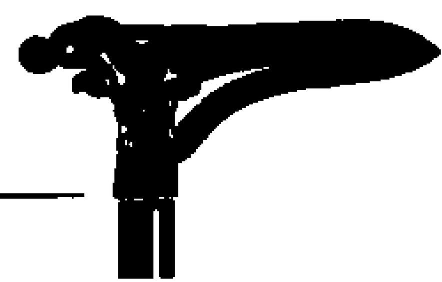
釉下青花在元、明两代都一直占据着彩瓷生产的主导地位，及清，它依然是景德镇瓷器的大宗产品。清代彩瓷的典型产品是康熙民窑青花，其主要特点是色泽鲜艳、层次分明、题材多样[12]，系清代同类产品之最佳者。

**表9-3-3　景德镇清代（青花+釉）的化学成分**

| 样号 | 名　称 | 成分（%） | | | | | | | MnO/CoO | $Fe_2O_3$/CoO | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CaO | $Fe_2O_3$ | MgO | MnO | CoO | $K_2O$ | $Na_2O$ | | | |
| C1 | 康熙青花瓷釉 | 7.23 | 0.96 | 0.03 | 2.29 | 0.32 | 3.11 | 2.13 | 7.16 | 3.00 | [3] |
| C2 | 康熙青花瓷釉 | 2.31 | 0.91 | 0.24 | 2.11 | 0.32 | 4.16 | 1.19 | 6.60 | 2.84 | [3] |
| C6 | 雍正青花瓷釉 | 8.35 | 0.93 | 0.20 | 2.34 | 0.36 | 2.99 | 1.39 | 6.50 | 2.58 | [3] |
| C7 | 乾隆青花瓷釉 | 6.43 | 0.92 | 0.21 | 2.28 | 0.45 | 3.00 | 0.90 | 5.07 | 2.04 | [3] |
| C8 | 乾隆青花瓷釉 | 1.64 | 1.10 | 0.14 | 4.11 | 0.70 | 2.54 | 2.36 | 5.87 | 1.57 | [3] |

注：除表中所列，标本C8尚含有CuO <0.01%、NiO <0.05%。

① 《景德镇陶录》卷一"图说·荡泑"："凡青花与观（官）、汝等器均须上泑。旧法：长方稜角者，用毛笔搨泑，弊每失于不匀。浑圆之琢器俱在缸内蘸泑，弊又失于体重多破，故全器难得。今圆器之小者，仍于缸内蘸泑，其圆琢大件，俱用吹釉法。以筒竹蒙细纱吹之；俱视器之大小，与泑之等厚薄，别其吹之遍数，有三四遍至十七八遍者。"泑，釉的假借字。此"泑"、"釉"混用（中国书店，1991年出版）。





从实物分析和文献记载看，有清一代，青花着色钴料都是国产钴土矿炼制的，它是二氧化锰、氧化钴、氧化铁等组成的复合矿，云南、江西、浙江、福建等省都有蕴藏，其含钴量常在2%以下，极少数可达9%。有学者分析过5件清代瓷器（青花 + 釉）的成分（表9-3-3）[3]，其 MnO/CoO 比的平均值为6.24，$Fe_2O_3$/CoO的平均值为2.41。唐英《陶冶图说》“采取青料”条载：“瓷器无分圆琢，其青花者，有宣、成、嘉、万之别。悉借青料为绘画之需，而霁青大釉亦赖青料配合。料出浙江绍兴、金华两郡所属诸山。采者赴山挖取，于溪流洗去浮土，其色黑黄，大而圆者为顶选，名为顶圆子，俱以产地分别名目。贩者携至烧瓷之所，埋入窑地锻炼三日，取出淘洗，始售卖备用。其江西、广东诸山间有产者，色泽淡薄不耐锻炼，止可画染市卖粗器。”这里谈到了青料的产地和采取方法。接着，该书“拣选青料”条还谈到了依颜色和光泽，将青料区别为三个等级的方法：“料之黑绿润泽，光色俱全者乃为上，选于仿古、霁青、青花，细釉用之。色虽黑绿，而鲜润泽者，为市卖粗瓷之用；至光色全无者，性薄，炼枯悉应选弃”。康熙青花呈色较好，与人们对钴土矿进行了较好的采取、选拣、加工、烧炼是密切相关的。在传统技术中，钴土矿的选拣方法是：先在水中充分淘洗，后装钵煅烧，再精选出色泽莹润、比重较大、拨动时发出金属之声的上等料，最后研至极细[13]。经这样处理后，MnO/CoO 比会下降40% ~50%，$Fe_2O_3$/CoO 比则可下降60% ~90%，从而使 CoO 得到富集，以改善青花料的呈色效果[14]。

青花料在釉下着蓝色，主要是高温熔融后氧化钴进入了釉中，形成了含钴玻璃相之故。一般认为，钴在玻璃相中以离子状态存在，大多数硅酸盐玻璃中，$Co^{2+}$为四配位，呈蓝色；少数为六配位，使玻璃质呈粉红色[15]。

康熙青花之层次分明，甚至一笔青料也能区分出浓淡不同的韵味，从而获得了“青花五彩”的美誉。这种层次分明的效果至少与两方面因素有关：（1）绘画技巧。清代瓷器绘画分工较细，《景德镇陶录》卷三说到的“彩之工”包括“乳颜料工、画样工、绘事工、配色工、填彩工、烧炉”。《陶冶图说》“圆器青花”条说：“青花绘于圆器，一号动累百千，若非画款相同，必致参差互异。故画者止学画而不学染，染者只学染而不学画，所以一其手而不分其心。画者、染者各分类聚处一室，以成其画一之工。”（2）青料成分。如 $Al_2O_3$，据分析明代中期及清代，青花料中的氧化铝含量一般都大于18%，高温烧成时，便可产生层次分明的效果。元代及明宣德，青花多用低锰、低铝的青料着色，清代之后基本上都采用高锰、高铝青料着色，其中云南“珠明”青料的氧化铝量最高达36.37%，这与明砂高岭较为接近。使用高锰、高铝的钴土矿着色时，不但色泽鲜艳，纹路清晰，而且烧成工艺易于掌握，这是明代中后期和清代青花工艺的一大进步和重要创造[15]。

2. 釉里红

明正德时期，景德镇釉里红技术已享有一定声誉，明代中后期曾一度衰落，清康熙间又才复兴。

康熙釉里红的主要成就是呈色比较稳定，其色淡红、幽雅，说明清代已基本上掌握了铜红釉的呈色技术。清雍正时期，釉里红技术又有了发展，出现了鲜红色，而且成品率很高，说明此技术已经相当成熟。

3. 青花釉里红和釉下三彩

操作要点是以铜红料和钴蓝料在釉下着色，之后在还原焰下一次烧成。此技术始创于元[15]，明时无大发展，只是演变出了釉下青花和釉上红彩相结合的新品种；清康熙时，随着釉里红的复兴，此技术亦复盛起来。今日所见康熙釉里红器装饰有钴蓝龙纹与铜红龙纹相结合的双龙图案，以及钴蓝与红铜相结合的花卉图案等。"釉下三彩"是在青花釉里红的基础上发展起来的，工艺要点是：钴蓝、铜红、豆青三者相结合，它的出现，把釉下三彩更向前推进了一步。为发挥釉里红的艺术效果，康熙时还发明了釉上绿彩与釉下红彩相结合的工艺，用以绘制红花绿叶图案，显得格外娇艳。

（二）丰富多彩的釉上彩工艺[9][16]~[20]

釉上彩是在传统低温色釉基础上发展起来的，始见于唐，明代已较发达，清代又有了进一步提高。明、清时期，人们对着色元素铁、铜、钴、锰在铅釉中的着色作用和呈色规律都有了进一步认识，这些低温色釉的配制技术亦不断改进，并创造了许多新的釉上彩品种。康熙时期的主要成就是釉上蓝彩和黑彩的发明和金彩的应用，这些都扩充了釉上彩的色谱，康熙末年又创造了粉彩。清代釉上彩品种主要有：

1. 康熙五彩

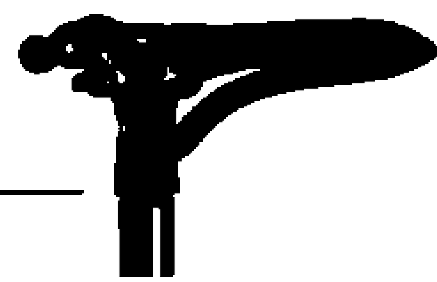
常用色料有红、黄、绿、蓝、紫、黑，以及它们的调合色等，名为五彩，实际上是多彩的。古以红、黄、黑、白、青为正色，谓之五色；此"五彩"即由此演变而来。康熙五彩的主要成就是发明了蓝彩和黑彩，其蓝色之浓艳胜过青花，其黑色是黝黑而有光泽。实际上，若烘烤温度、气氛控制较好，其余诸种色彩同样是鲜艳明净的，故康熙五彩更较明代五彩明媚娇艳。

红彩。包括矾红和金红两种。

矾红又称铁红，以氧化铁着色。此技术始见于宋[19]，后世一直沿用，是我国古代的传统红彩，明宣德青花五彩、成化斗彩、清康熙五彩等中的红彩，皆属矾红。矾红是以青矾，即 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 为原料，经煅烧、漂洗而制成的，这种红矾不但活性较大，而且极易研成细粉。这种 $Fe_2O_3$ 细粉便是所谓的红矾料，再配入适量的铅粉、牛胶便可用于彩绘。矾红的色调与彩料的细度、绘制后的烘烤温度和时间等都有一定关系。通常是粉料越细，色调越鲜艳；但若烘烤温度过高、时间过长，部分 $Fe_2O_3$ 便会熔入底釉而使红彩色调闪黄。

金红系康熙二十年(1681 年)由西洋传入景德镇的，故又谓之洋红；因其色调与胭脂相近，故又谓之胭脂红。其着色机理与铜红同样，也是依靠金属悬浮体、胶着体着色的。但其外观与铜红、铁红不同。有学者分析过 19 世纪中叶的胭脂红生料和胭脂红细料各 1 件，后者成分为：$SiO_2$ 38.8%、PbO 47.37%、$Fe_2O_3$ 0.3%、CuO 0.4%、Au 0.25%、($K_2O + Na_2O$) 7.54%、烧损 3.6%[20]。

黑彩。主要着色元素是铁、锰、钴、铜。它可能是以钴土矿和铜花(铜炼渣)配制成的。其化学成分的基本特点是：（1）$K_2O$ 和 $Na_2O$ 含量极低，说明此色料中不曾加硝；除矾红外，我国其他釉上彩都是要加硝($KNO_3$)的。（2）烧损量高达 14%~26%，显然是加入了某种有机质，如作粘结剂用的牛胶等之故。有人分析过





一件19世纪中叶的釉上黑彩，其 $K_2O$ 和 $Na_2O$ 总量为零，烧损高达14.2%[20]。

蓝彩。我国传统的釉上蓝彩是从钴蓝铅釉发展起来的，此釉在唐三彩上已经使用。清代蓝釉和蓝彩皆系天然钴土矿着色，主要着色元素除钴外还有铁、锰等。但值得注意的是，为了调整蓝彩的色调，有时还加入少量绿彩，故蓝彩有时也含铜。

绿彩。由铜绿铅釉发展而来，此釉始见于汉。绿彩和绿釉都以 $Cu^{2+}$ 着色。有学者分析过5件釉上绿彩，CuO 量介于0.51%～5.05%间，平均2.87%。法国传教士昂特雷科莱(汉名殷弘绪)在他给教会的第二封信中说，清代铜绿料的制法是这样的："往一两铅粉中添加三钱三分卵石粉和大约八分至一钱铜花片。铜花片不外乎是熔矿时获得的铜矿渣而已……以铜花片作绿料时必须将其洗净，仔细分离出铜花片上的碎粒。如果混有杂质，就呈现不出纯绿色"。昂特雷科莱曾在景德镇居住过多年。

黄彩。有铁黄彩和锑黄彩两种。前者是从铁黄铅釉发展来的，铁黄铅釉始见于汉。康熙以前，我国瓷器上的黄彩只有铁黄一种，以三价铁离子 $Fe^{3+}$ 着色，据昂特雷科莱在给教会的第二封信所云，清代景德镇铁黄釉的制法是："往一两铅料中调入三钱三分卵石粉和一分八厘不含铅粉的纯质红料……如果调入两分半纯质红料，便会获得更美丽的黄料"。此"红料"即矾红料。

锑黄彩始见于清康熙时期[19]。康熙珐琅中的黄彩是进口料，国产锑黄在雍正粉彩上才较多地看到。有人分析过清代在19世纪中叶使用的锑黄，成分为 $SiO_2$ 40.47%、PbO 51.53%、$K_2O$ 3.39%、$Na_2O$ 0.71%，$Al_2O_3$ 和 $Fe_2O_3$ 皆为痕量，$Sb_2O_3$ 3.66%（锑酸）、CuO 0.35%、CaO 0.17%[20]。其工艺操作有待进一步研究。

这是康熙五彩中，诸彩的着色机理及其制作工艺。

2. 金彩

我国古代用金来装饰陶瓷的工艺是较早的，唐、宋、明代都可看到。最初是用金箔，以漆粘结；清代改用了金粉。金粉绘饰的基本操作是：先用笔将金粉绘于瓷器表面，然后在700℃～850℃下烘烤，金粉便附于釉面，再用玛瑙棒等研光[19]。此法又谓之描金。昂特雷科莱给教会的第一封信中云，金粉的做法是：先"将金子磨碎，倒入瓷钵内，使之与水混合，直到水底出现一层金为止。平时将其保持干燥，使用时取其一部分，溶于适量的橡胶水里，然后掺入铅粉。金子与铅粉的配比为30比3"[21]。此橡胶水疑是牛胶或其他动植物胶之误。

3. 珐琅彩

以瓷为胎的珐琅工艺约始见于清康熙时期，它显然是从明代铜胎珐琅工艺中演变过来的，其在康熙、雍正、乾隆三朝都是十分名贵的宫廷用品。康熙珐琅彩常在素烧过的瓷胎(内壁有釉，外壁无釉)上，以黄、蓝、红、豆绿、绛紫彩色为地，再用珐琅彩绘图；也有部分珐琅彩瓷系宜兴紫砂胎质的。雍正之后则多在精致的白瓷器上精心彩绘。珐琅彩最初是进口的，至迟雍正六年，清宫造办处即开始自己炼制。从科学分析可知，珐琅彩与我国传统釉上彩的差别主要是：（1）其中含硼，它的基质是铅硼玻璃；传统釉上彩是不含硼的，其基质是含有少量 $K_2O$

的铅玻璃。(2) 其含砷。除康熙以后的粉彩外，我国传统釉上彩和釉下彩都是不含砷的。(3) 其黄彩为锑黄，粉彩中的黄彩也是锑黄。康熙以前，不论五彩中的黄彩还是低温色釉中的黄彩，都是铁黄。(4) 其胭脂红为金黄色粉着色，但金黄色在康熙以前是不曾见过的。这些情况说明，此珐琅彩工艺是从国外引入的[18]。

4. 粉彩

这是在康熙五彩基础上，受了珐琅彩工艺的影响而发明出来的，约始创于康熙时期，雍正年之后便达到了相当成熟的阶段。粉彩的技术关键是在白色彩料（玻璃白）中引入了砷作为乳浊元素。玻璃白的主要成分是 PbO、$SiO_2$、$As_2O_3$，前者是熔剂，次者是形成玻璃的主要成分，后者可起到乳浊作用。粉彩的一般操作步骤是：先在高温烧成的白瓷上勾画出图案轮廓来，后在其内填上一层玻璃白，再把彩料施于玻璃白上，并用毛笔依深浅浓淡的不同要求，将彩料洗开，使花瓣和人物的衣服皆有阴阳、浓淡的立体感。粉彩中有的色料是用油料绘彩的，不像五彩那样用胶水绘画，故色料厚薄的本身就造成了一种立体感，这种效果是五彩的单线平涂法无法获得的。前述 11 件清代前期瓷器中，有 2 件雍正薄胎彩瓷，其 $Al_2O_3$ 量分别为 26.25% 和 27.42%；$Fe_2O_3$ 量分别为 0.84% 和 0.77%，胎厚却只有 1.5～2.0 毫米。这种粉彩瓷不但画面立体感较强，艺术性较高，胎质洁白且较薄，甚至达到了“只恐风吹去，还愁日炙销”的地步。

5. 斗彩

是釉下青花和釉上彩色相结合的工艺，约始创于明成化时期，并很快就发展到了较高水平，清雍正时又发展到了更高的阶段。雍正斗彩的主要成就是：(1) 成功地仿制了成化斗彩。(2) 把昔日釉下青花与釉上五彩相结合的工艺改成了釉下青花与釉上粉彩的结合，使图案显得更加艳丽、清逸。(3) 在色彩上常以金红代替铁红，使斗彩更为娇艳。

6. 素三彩

是不用红彩，而以黄、绿、紫等为主色的釉上彩工艺，约始见于明，正德时已相当精致，清康熙时又有了进一步发展。此时的主要技术措施是：(1) 在基本色调中增加了当时特有的蓝彩。(2) 加彩方法较为多样，有时在素烧的白瓷胎上直接加彩，之后罩白，并低温烧成；有时在白釉瓷器上先涂色地，之后再绘素彩。色地中有一种墨地，构成墨地素三彩，甚为罕见。

我国明、清时期的釉上彩多是在古代低温色釉基础上发展、演变过来的。它们的主要区别是：低温色釉属 $PbO-SiO_2$ 二元系，釉上彩中除少数品种外，多数是属于 $PbO-SiO_2-K_2O$ 三元系的。当然，着色机理并无本质区别，绿釉和绿彩都主要是 $Cu^{2+}$ 着色，黄釉和黄彩都主要是 $Fe^{3+}$ 着色，蓝釉和蓝彩都主要是 $Co^{2+}$ 着色。

釉上彩之烘烤常在专门的炉子中进行，《景德镇陶录》卷四“陶务方略”载：“镇有彩器，昔不大尚。自乾隆初，官民竞市，由是日渐著盛……皆不用古法明暗炉之制，但以砖就地围砌，如井样高三尺余，径围三两尺，下留穴中，中置彩器，上封火而已，谓之烧炉，亦有期候”。可见彩器烧烤炉是围砌如井状的简单设备。

### 五、色釉技术的发展

从烧成温度看，我国古代色釉包括高温和低温两种类型。前者至迟发明于夏



末商初，所见实例如马桥原始瓷罐黑釉等；高温釉主要以 CaO、MgO、$K_2O$、$Na_2O$ 作助熔剂，在1200℃以上的高温下烧成，是我国古代瓷釉的基本类型；后者约发明于汉，利用 PbO 作助熔剂，在700℃～900℃下烧成。清代前期，它们都在明代基础上有了进一步发展，有的还有创新。传统青釉在雍正时趋于稳定①，铜红釉在清代前期达到历史上最高水平，仿汝、仿官、仿钧釉，以及茶叶末、蟹壳青、铁锈花等含铁结晶釉都获得了很高成就，这些工艺中，前几种是利用釉面开片和釉色变化，后几种则是利用了铁的结晶来装饰的。明代已有多种色釉，如蓝、黄、绿、紫、酱色釉等，清代都有一定发展。此外，还新创了胭脂水、乌金釉、珊瑚红釉等。这些单色釉技术的进步都主要反映在景德镇官窑器上。如前所云，依着色元素来分，我国传统瓷釉主要包括三大体系，即铁系、铜系、钴系，前者沿用时间最长、品种最为多样、产量最大、使用范围最广。除了三大体系外，还有一个锰系，但它只在某些紫色低温釉和釉上彩中与钴一起着色，应用范围较窄[10]。

（一）青釉技术的发展[9][10]

青釉属铁系高温釉，以 CaO 为主要助熔剂，是铁系高温釉中沿用时间最长的品种。商、周原始瓷，汉代越窑青瓷，及至宋代的龙泉、官、哥、汝等窑器，皆属青釉范围。青釉在南宋龙泉窑曾达到了历史上的一个高峰，因元代盛行青花、釉里红，明代推崇彩瓷；青瓷在明代初年虽有一定发展，但到明代后期时，有的青釉竟成了油灰色，使青瓷一度衰退；清康熙时期，青瓷又才复起，并烧出了苹果青等成功之作。清代青瓷技术的主要成就是：雍正时成功地烧出了“东青（豆青）”釉，据《景德镇陶录》云，当时的官窑、民窑都烧过东青釉。因东青釉的出现，就把青釉技术提高到了一个更为成熟的阶段。

与南宋龙泉青釉相比较，清雍正时景德镇东青釉的突出成就是：（1）成色稳定、均匀，说明其在成分选择和烧成技术上都达到了更为成熟的阶段。东青釉的制法，《景德镇陶录》卷三“配合釉料”条说是“用紫金釉微掺青料合成”。而作为南宋上乘之品的梅之青、粉青釉，都常见有青中带黄，或完全呈黄色的现象。（2）成品率较高，且制作了一些大型器物，这显然与瓷胎含铝量增加和烧成技术提高是密切相关的。

（二）铜红釉技术的发展

铜红釉虽在元、明时有了一定提高，但终因气氛控制难度大，明代中期之后几乎一度失传，清康熙之后又才复兴起来，并创造了一些新的品种，其中较为重要的有：

郎窑红。这是清康熙时期仿明宣德宝石红的成功之作，是郎廷极任“督窑”时制作出来的。其色深艳，犹如初凝的牛血一般，故又谓之牛血红，亦叫宝石红。釉面透光垂流，器物里外开片，底足内呈透明米黄色或苹果绿。杨文宪分析过7件郎红釉，平均成分为：$SiO_2$ 64.72%、$Al_2O_3$ 10.87%、$Fe_2O_3$ 0.78%、MgO 0.98%、CaO 12.28%、BaO

① 青釉是否属于色釉，学术界是有不同意见的，有学者认为纯色釉主要包括红、黄、蓝、黑、绿等种色釉，而不包括青釉；多数人都将青釉归于色釉之中，本书亦持此说。其实，青釉器的色态也是较为鲜明的，尤其是部分清代的青釉器。





残痕、PbO 2.71%、$MnO_2$ 0.26%、CoO 残痕、CuO 0.35%、$TiO_2$ 0.05%、$SnO_2$ 0.04%、$P_2O_5$ 0.17%、$B_2O_3$ 0.14%、$K_2O$ 2.82%、$Na_2O$ 5.1%。CuO 含量波动于 0.34%～0.67%间[21]。

豇红釉。其酷似豇豆之红色，俗又谓美人醉、桃花片等。相传始于明代中叶，盛于清康熙、雍正时期。郎红者，宝光四溢，鲜艳夺目；豇豆红者，则是浓淡相间，幽雅清淡、柔和悦目，颇似桃花和海棠之色，给人以意境深远之感。其釉面习见有绿色苔点，原是烧成过程中的一种缺陷，但在浑然一体的淡红釉中点缀出少许绿斑，却是相映成趣。

霁红。是一种失透深沉的红釉，其呈色均匀、釉如橘皮，既不同于郎红釉之浓艳透亮，又有别于豇豆红之淡雅柔润。其始见于明永乐、宣德时，因王室常用之作为祭器，故后人又谓之祭红。它在康熙、雍正、乾隆三朝都可看到，之后即衰。

如上三个品种都是以铜着色的，在 1300℃左右的还原性气氛中烧成，它们之成功烧制，说明从原料选择和制备，到烧成温度和气氛的控制都已形成了一套比较成熟的工艺。清代铜红釉还有一些，不再一一介绍，其时它已发展到了相当高的水平。

（三）仿宋诸色釉技术之发展

清代前期，尤其是雍正之后，仿制汝、官、哥、钧釉技术都达到了较高水平。官窑、民窑都曾投入到了这一仿制行列，官窑的成就尤为出色。

清代仿汝釉系天蓝色，其中显现有鱼子纹的小开片。其质色之佳，比宋汝釉有过之而无不及。两者的主要区别是：（1）宋汝器的釉面是失透的，显得厚润而沉稳；仿汝釉则釉面透亮，清澈而晶莹，色泽淡雅柔和。（2）宋汝器多为小件，仿汝器则有瓶、洗等大件。

雍正时期的仿钧器，实际上是“仿钧不似钧”的新品种，它主要是仿制宋钧的窑变花釉。它的基本操作是将多种不同的色釉施于一器，令其在高温下自然流淌，相互交融，而呈现一种犹如火焰的图案。具体操作约有两种：（1）在同一部位施以两种不同的色釉，通常是先涂含铜的底釉，再涂滴含铁的面釉。（2）在不同部位施以不同成分的釉料，如先在胎上施一层含铁的底釉，后在器物下部洒滴含钴的面釉，再在器物上部涂一层含铜的釉料，之后高温烧成。此第二法虽无千变万化的多色交融，但却别有一番情趣[22]。

（四）其他色釉的发展

清代前期的色釉，不但名目繁多，而且品种多样，其中有沿袭前代的，也有创新的。前者如蓝釉、黄釉、绿釉、紫釉、酱色釉、茶叶末釉等，后者如乌金釉、天蓝釉、珊瑚红等，而在每一品种下又可细分出多个小的品种来。大家较为熟悉的如：

珊瑚红，这是一种低温铁红釉，始于康熙朝，盛于雍正、乾隆时期。雍、乾两代的一种做法是：以珊瑚红作地色，后再分别绘以五彩或粉彩。

乌金釉，这是一种乌黑如漆的黑色亮釉。昂特雷科莱给教会的两封信中说，它是由浓度较高的优质青料和紫金釉混合而成的。紫金釉即是酱色釉，是以铁为



着色剂的高温釉，宋代便已出现；乌金釉的着色元素除铁外还有钴和锰，其始创于康熙时期，并盛于康熙时期。我国原始瓷黑釉约始于夏末商初，瓷之黑釉约始于东汉，江浙一带的六朝墓葬曾常有出土；迄唐，北方不少窑口都已烧造；宋时，南北各地约有1/3的窑口烧造过黑釉器。黑釉瓷是一种铁系高温釉，胎中、釉中的含铁量都较高。但值得注意的是：这种黑釉并非纯黑，而是稍带棕色的，唯康熙乌金釉才是纯黑的。[10][22]只可惜乌金釉甚为鲜见。

茶叶末和蟹壳青，它们都是含铁结晶釉。原是釉中所含溶液处于过饱和态，在缓慢冷却中发生了析晶之故，釉色多为失透的黄绿色。它起源于黑釉，清康熙时已出现过蛇皮绿、鳝鱼黄等品种。《景德镇陶录》卷五“景德镇历代窑考·国朝”载：“康熙臧窑，厂器也，为督理官臧应选所造……有蛇皮绿、鳝鱼黄、吉翠、黄斑点四种为佳。其浇黄、浇紫、浇绿、吹红、吹青者亦美。”雍正时期，其釉色亦多偏黄，俗谓鳝鱼皮、鳝鱼黄；乾隆时期的釉色多稍偏绿，俗谓之茶叶末、蟹壳青。[10][22]

**六、筑窑技术的进步和烧造技术的提高**

（一）筑窑技术之进步

明景德镇使用的窑炉主要是葫芦窑和阶级龙窑，宋应星《天工开物》皆曾谈及。入清，葫芦窑仍在沿用；大约清代初期，又演变出了蛋形窑。不管葫芦窑还是蛋形窑，都兼具了半倒焰窑和龙窑的一些特点。

关于清代葫芦窑的形制，清雍正年间的《南窑笔记·窑》曾有明确记载：“窑形似卧地葫芦，前大后小，如育婴儿鼎器也。其制：用砖周围结砌，转蓬如桥洞。其顶有火门、火窗、库口、对口、引火处、牛角抄、平风起、末墙火眼、过桥处、鹰嘴、余堂、靠背以至烟囱。深一丈五尺，腹阔一丈五尺。架屋以蔽风雨。烟囱居屋之外，以腾火焰。凡坯入窑，俱盛以匣，上下四围俱满粗瓷卫火。中央十路位次俱满细瓷。火用文武，经一昼夜，瓷将熟时，凡有火眼处，极力益柴，助火之猛烈十余刻，名曰上�。用铁锹从火眼出坯片，验其生熟，然后歇火，缓去门砖，俟冷透开之，便无风裂破之患矣”。这里简要地谈到了葫芦窑的结构、装烧方法和出窑注意事项。

蛋形窑显然是从葫芦窑演变过来的，它兼具了龙窑和馒头窑的特点，比阶级窑又进了一步。《景德镇陶录》卷一“图说·满窑”条载：“窑制：长圆形如覆瓮，高宽皆丈余，深长倍之，上罩窑棚，其烟突围圆，高二丈余，在窑棚之外。瓷坯既成，装匣入窑，分行排列，中间疏散，以通火路。其窑火有前中后之分，安放坯匣，皆量泑之软硬，以定窑位。发火时随将窑门砖封，留一方孔，入柴片刻不停。有试照者，熟则止火，窨一昼夜始开。幅中满烧备具。”显然，此“长圆形如覆瓮”之窑即是蛋形窑，这里谈到了它的结构和装烧工艺。此“窨一昼夜”，目的当是令其缓慢冷却。虽《陶冶图说》未提到此种窑制，但将其发明期推到清初还是可以的。

从传统技术调查来看，蛋形窑的纵剖面如半个蛋壳，窑身的前段宽而高，后段窄而低，投柴口、进出门、火床，均设在前段；烟囱紧接着窑身的后段，高度相当于窑长。此与《景德镇陶录》所述有一定区别。窑底前低后高，构成3度倾斜。窑身全长15～20米，容积150～200米$^3$，全窑最高处达5.0米左右。窑门封闭后留一投柴口，靠近窑门的窑底上设有炉条，窑的最高处与窑门的水平距离约

3～4米。它与葫芦窑的主要区别是：蛋形窑取消了葫芦窑中的第二个小室。其在结构和操作上的主要特点是：（1）窑墙和窑顶之壁皆可分为三层：内层为窑壁，甚薄，厚度大约只有0.2～0.25米；第二层为隔热层，厚约0.2～0.3米，内填砂土。它既可隔热，减少热损失，也可缓冲窑壁、窑顶因急冷急热而引起的开裂。最外为护墙。（2）烟囱较为高大，故抽力较大。图9－3－1所示为两种窑形的火焰流向示意图。（3）窑中不同部位装烧不同制品。一般情况下，全窑水平方向放置匣钵40排，每5排一个“配方”（配置方阵），从窑顶到窑底，竖直方向为3个配方，全窑24个配方。如钧红、青花、祭红和色釉等放在第12、13排以前的上部，铜红釉器须在15排前后的中部，不同的制品在同一窑内也能获得良好的烧造效果。蛋形窑对西欧的筑窑技术曾产生过较大的影响，18世纪英国的纽卡斯特尔窑（Newcastle kiln）、德国的卡塞勒窑（Kasseler ofen）皆系仿景德镇窑而筑成。[21][23]

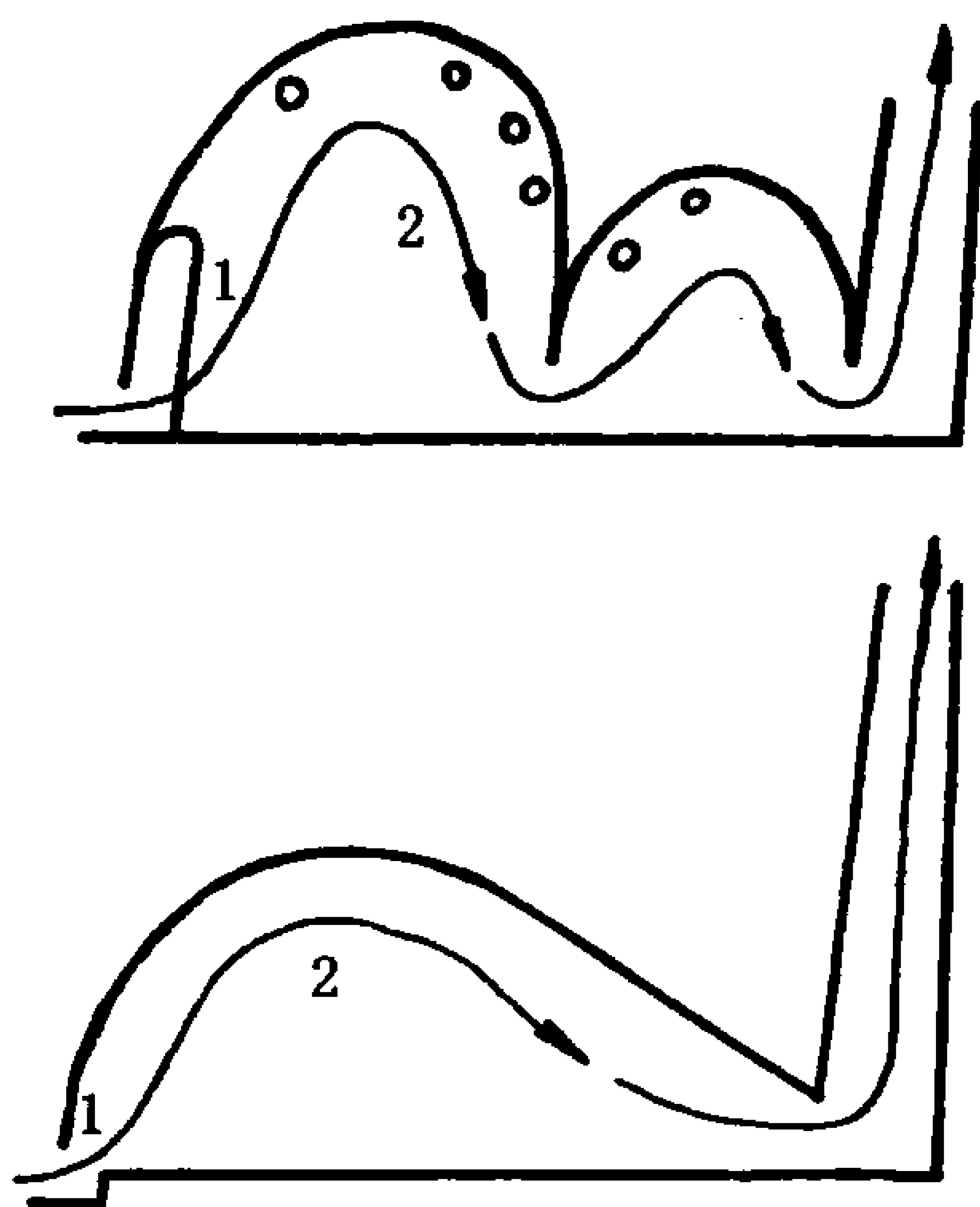



**图9－3－1　葫芦窑和蛋形窑火焰流向示意图**

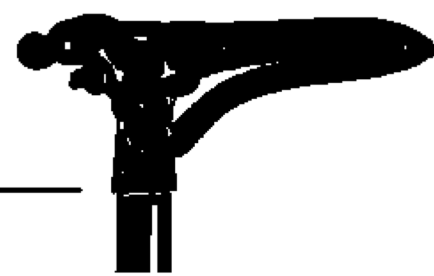
上．葫芦窑　下．蛋形窑
1. 火膛　2. 窑室
采自文献[23]

（二）匣钵成型技术的记载

匣钵约发明于东晋，宋后普及开来。但关于匣钵制作技术的详细记载却是到了清代才看到的。唐英《陶冶图说》“制造匣钵”条载：“瓷坯入窑最宜洁净，一沾泥渣便成斑驳；因窑风火气冲，易于伤坯，此坯胎之所必用匣钵套装也。匣钵之泥土，产于景德镇之东北里淳村，有黑、红、白三色之异。名（朱琰《陶说》引作‘又’）有宝石山出黑黄沙一种，配合成泥，取其入火禁（《陶说》引作‘烧’）炼。造法用轮车，与拉坯之车相似。泥不用过细，俟匣钵微干，略旋；入窑空烧一次，方堪应用，名曰镀匣。”这里谈到了两个问题：（1）匣钵的作用，是为防沾污和高温火焰流的伤害。（2）匣钵的制造工艺。《陶说》卷一“制造匣钵”条朱琰“按”，曾对匣钵的重要性作了进一步的说明：“旧制窑有六，匣窑居一；作有二十三，匣作居一。火烈土柔，匣所以护坯者，故必专事而后可应用”。可见历代对匣钵都是较为重视的。

（三）烧成技术的提高

在瓷器胎釉选择技术、配制和加工技术，以及成型技术、筑窑技术提高的同时，清代前期的烧造技术也有了较大进步。宋代以前，景德镇瓷器烧成温度常低于1200℃，元、明时期常达1200℃上下，清代达1300℃左右，显然，这与胎釉成分的变化是相一致的。提高窑温的重要措施之一是改进窑的结构，所以蛋形窑的发明对清代瓷业的发展是作出了重要贡献的。清代前期的青花瓷，胎质洁白致密，白度高达72.1%，吸水率大都降到了0.1%左右[3]。康熙青花等胎中残留石英、长





石、云母诸相的颗粒极细，大小均匀，说明其胎料是经过了较好的淘洗和精细加工的。其胎中莫莱石发展得较为充分，相互交叉成席状，这种致密的结构在明代以前是很少看到的。莫莱石的增加有利于提高瓷胎强度。所以清代高级白瓷无论在外观上，还是物理机械性能上，都达到了历史最高水平。

## 第四节　机械技术的发展

清代早、中期的机械技术，总体上是沿袭了前世的业绩，但不同技术门类间也存在一些差别。井盐开采机械便获得过一些令人瞩目的成就；广东高炉的机械车装料，对社会生产也产生过积极的影响；纺织机械也有一定发展，并出现了一些专业生产场所；这些情况在有关章节都会谈到。此期的农业机械并无太多建树，其中较值得注意的是风力排灌机械。风力排灌机械虽始见于宋，但有关其具体构造、传动机构的记载，却是到了清代才看到的。本节主要介绍一下风力排灌机械和风力推车的部分情况。

由清代以及保留到20世纪的传统技术来看，我国排灌风车都是齿轮传动，计有立轴式和卧轴式两种。

曾廷枚《音义辨同》卷七载："有若水车桔槔，置之近水旁，用篾篷如风帆者五六，相为牵绊，使乘风引水也。"此只谈到了"风帆者五六"，也十分简单。

1656年，一位名叫Jan Nieuhoff的荷兰人在江苏一带绘制了一幅风车图，立轴式，齿轮传动（图版拾肆，1），使我们对清代早期风帆水车基本形态有了一些了解；李约瑟博士将之收入了《中国科学技术史》一书中[1]。这是今日所见我国最早的风帆水车图像。

周庆云《盐法通志》卷三六"盐具二·风车"条也记载了一种风车："风车者，借风力回转以为用也。车凡高二丈余，直径二丈六尺许。上安布帆八叶，以受八风。中贯木轴，附设平行齿轮。帆动轴转，激动平齿轮，与水车之竖轮相博，则水车腹页周旋，引水而上。此制始于安凤官滩，用之以起水也（原注：《东三省志》）。长芦所用风车，以坚木为干，干之端平插轮木者八，如车轮形，下亦如之。四周挂布帆八扇，下轮距地尺余，轮下密排小齿。再横设一轴，轴之两端亦排密齿与轮齿相错合，如犬牙形。其一端接于水桶，水桶亦以木制，形式方长二三丈不等，宽一尺余，下入于水，上接于轮。桶内密排逼水板，合乎桶之宽狭，使无余隙，逼水上流入池。有风即转，昼夜不息。不假人工，不资火力。"[2]此记述较详，显然也是一种齿轮传动的立轴式风车，车高2丈余，风轮直径2丈6尺多，计安8张风帆。属清代中期。同卷"水车"条还谈到了一种风力推动的龙骨车，说："一风车能使动两水车。譬如风车平齿轮居中，驭驶两水车竖齿往来相承，一车吸引外沟水，一车吸引由汪子流于各沟内未成卤之水"。原文说，此"水车"即龙骨车。

直至20世纪中后期，这种立轴式风车在我国还大量地保存着。据陈立调查，1951年时，仅渤海之滨的汉沽塞上区和塘大区便有立轴式风车约600部之饶[3]。又据易颖琦等调查，1982年时，江苏阜宁县沟墩地区盐场尚有立轴式风车存留，车高达2丈4尺，宽4丈余。据同济大学机械史课题组调查，1985年，沟墩风车已经拆




除；老木匠回忆说，风车最长约 14 米、宽 11.2 米、高 10.6 米；风帆尺寸规格均为 4.2 米×2.8 米，大小齿轮的齿数分别为 88 齿、18 齿，直径分别为 3.5 米、0.7 米。车帆构造与船帆基本一致，每张帆以藤圈套在桅杆上，上端系游绳（升帆索）吊挂在辐杆的滑车上。风帆靠近立轴一边用缆绳拉系在临近的桅杆上。通过收放游绳便可调节帆的高低及其受风面积。风压与帆的面积、升挂高度、安装角度都有一定关系。风力大时，一个平齿轮可驱动 2～3 台龙骨车。立轴式风车的优点是：风帆的方向可自动调节。当风帆转到顺风一边时，它就自动地趋于与风向垂直，使所受风力达最大值；当风帆转至逆风处时，便自动地转至与风向平行，使所受阻力达最小值。故立轴式风车不受风向变化的影响。风轮转速常为每分钟 8 转左右[4]。

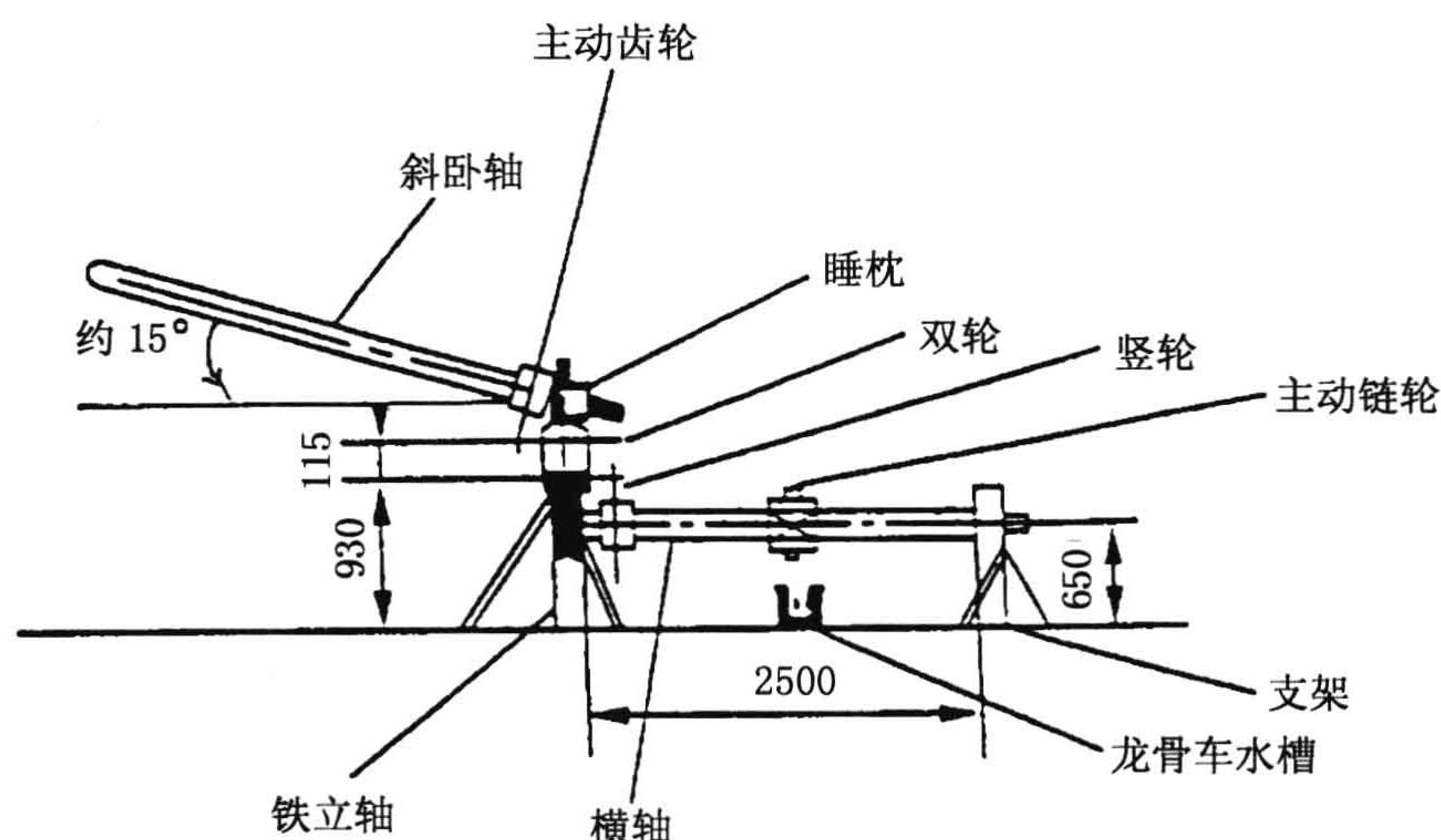



**图 9－4－1　20 世纪赣榆卧轴式风车传动机构示意图**

采自文献[5]

除立轴式外，在传统技术中还有一种卧轴式风车。1993 年，冯立升等在江苏连云港市赣榆县盐场（柘汪乡西林子村）调查时看到一种轮轴为斜卧式的大风轮，以驱动龙骨车提取盐水。其风轮可挂 3～6 幅风帆，使用了两级齿轮传动（图 9－4－1）。风车斜卧的长轴下端安有主动齿轮，此轴下贯于轴座中，并以为支点。轴座下有铁立轴，作承载用。立轴上安有双轮，其实是在长轮毂上制成的两个平行齿轮。与立轴相连处还有一个水平放置的横轴，用于传动作为工作机械的龙骨车。在横轴上，靠近立轴的一端装有一个竖齿轮，横轴中段安有龙骨车的齿状链轮。风轮旋转时，便依次带动主动齿轮、双轮、横轴竖轮、横轴转动，从而将动力传到了龙骨车

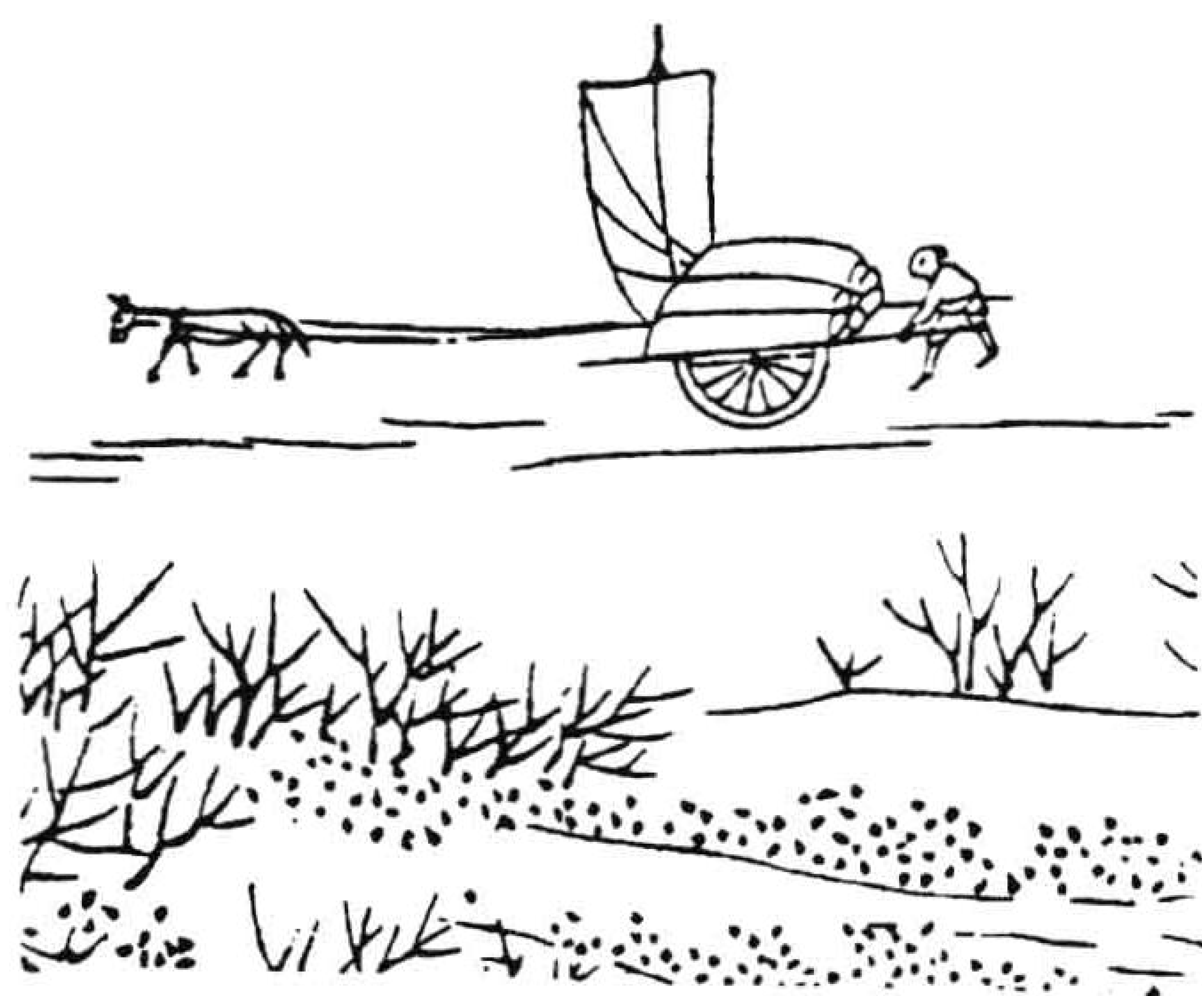
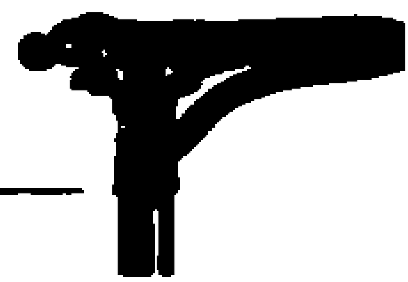


**图 9－4－2　《鸿雪因缘图记》（1839 年）所载风帆车**



的链轮上。其齿轮由木质轮毂、木齿、铁箍组成。主动齿轮、双轮、竖轮的直径和齿数均相同[5]。

除风帆水车外，风帆推车是此期利用风帆的另一范例。风帆推车在我国至迟发明于南朝，之后就一直沿用了下来。清麟庆《鸿雪因缘图记》（1839 年）绘有一幅加帆独轮车，一畜拉车，一人扶辕，车上立有一面风帆（图 9 -4 -2）。直到 20 世纪，类似的风帆车在山东、河南等地仍有使用；东北地区还有人在冰床上加帆的。风帆车多为独轮，但不易掌握平衡；也有双轮者，缺点是重载时阻力较大；故其不及畜力车灵活、稳当。

## 第五节 纺织技术的发展

清代在纺织技术上仍有不少的进步：工艺上有一定的改进，操作更为娴熟，纺织品的产量、质量和花色品种，都有一定的扩展。

早在明代，棉布便成了大众衣着的主要用料；到了清代，全国南北无不植棉。乾隆时代的李拔《种棉说》载："予尝北至幽燕，南抵楚粤，东游江淮，西极秦陇，足迹所经，无不衣棉之人，无不宜棉之土。八口之家，种棉一畦，岁收百斤，无忧号寒。"[1]丝织业则不管在地域上，还是产量上，都较明代见小，其中较为发达的地区只剩下太湖流域。广东、福建、贵州、云南、四川、陕西等地的蚕桑业也有一定发展，但较东南逊色。苎麻、葛等的种植更无棉花普遍，且数量也不大。

清代早、中期纺织技术上值得注意之点是：在家蚕饲养方面培育出了许多新的品种；柞蚕放养技术逐渐成熟起来。缫丝过程中更注意到了用水对丝质的影响。大纺车的设置由单面改成了双面排列，并增设了给湿定形装置；人们不但注意到了干湿度对织造生产的影响，而且采取了防范措施。不管是丝，还是棉麻，都织出了不少名牌产品。云锦技术更加成熟。在漂练工艺中，丝织品使用了"半练法"，麻类织物使用了强碱沤练和草地晒白法，棉织品则可能使用了发酵槌捣法。染色时更为普遍地使用了加热法来提高染色速度和效果。在印花技术中发明了木戳印花、木滚印花，以及刷印花和刮印花等工艺。

### 一、原料加工技术的进步

清代纺织用纤维，包括棉、丝、麻葛、毛等，其加工技术都有不同程度的进步，其中尤其值得注意的是家蚕饲养和柞蚕放养。

#### （一）棉花初加工技术

棉花初加工的轧花、弹花、搓筵三项工序中，值得一提的是轧花。

清代轧花用搅车依然沿用明代的脚踏机，但增加了一个飞轮。褚华《木棉谱》载："搅车，今谓之轧车，以木为之，形如三足几，坐则高与胸齐，上有两耳卓立。空耳之中置木轴一，径三寸。有柄在车之左，以右手运其机。向外复置铁轴一，径半寸，有轮在车之右，以左足运其机，向内皆用木楔笼紧，中留尺许地。取花塞两轴之隙，而手足胥运，则子自内落，无子之花自外出；若云叆叇然。"此车右之"轮"，当即飞轮。利用飞轮的惯性力，不但省力，而且车轴旋转得更加匀速平稳；明代搅车未提飞轮，示图上亦未看到，飞轮的使用显然是个进步。从机

械学角度看，它是对惯性的一种有效利用。类似的搅车直到20世纪50年代还可看到。

（二）家蚕饲养技术

清代蚕桑业较好地继承了前世的技术成果，其较值得注意的事项有二：一是家蚕品种较多，使家蚕的杂交优势更充分地显示了出来；二在饲养方面，各地都总结出了许多较好的经验。

清代家蚕品种较多。仅《吴兴蚕书》所云，依化性分，“有头蚕、二蚕、三蚕、四蚕、五蚕，种类纷纭，错出于春夏秋三时。湖人所重在头蚕，饲养颇广”。依眠性分，又有三眠蚕、四眠蚕。“二蚕、三蚕、四蚕、五蚕皆眠四番。惟头蚕有四眠者，有三眠者（原注：四眠之中亦间有变三眠者）”。依体态和生活习性分，又有泥种、石灰种、懒替种、石小罐种、白皮种、丹杵种等[2]。此书为嘉庆间（1796～1820年）浙江人高铨所著，光绪十六年（1890年）刊。此时人们对各种家蚕的繁殖方法、生活习性等都有了更深的了解。《吴兴蚕书》又载：“（若）不顺其性，鲜有能遂其生者，故育蚕之道，当以辨种为先务，知其种则知其性矣。”

人们在家蚕饲养方面已积累了相当丰富的经验，且各家都作过许多总结。清代蚕桑著作较多，有专著，也有杂合于其他综合性图书中的。大家较为熟悉的如：杨屾《豳风广义》（成书于乾隆五年）、高铨《吴兴蚕书》（成书于嘉庆间）、溧阳沈练《广蚕桑说辑补》等，计约30余种。各项管理也都更加细化，更为成熟。从《广蚕桑说辑补》之成书过程便可见此“细化”之一斑。此书原作者为沈练，江苏溧阳人，清道光二十年（1840年），他到安徽绩溪任司铎；绩溪原无蚕桑之业，为提倡蚕桑，遂成《蚕桑说》一书。咸丰四年（1854年）时，沈练又依沈秉成的《蚕桑辑要》，对自己的《蚕桑说》作了增订，遂成为《广蚕桑说》，并于同治二年刊行。光绪三年（1877年），宗源瀚任浙江严州知府，为推广蚕桑，命浙江淳安人仲昴庭用按语形式对《广蚕桑说》进行增补，遂成《广蚕桑说辑补》。光绪三十三年，湖州人章震福，又依湖州见闻，再次用按语形式作了补缀校订，最后方成为《广蚕桑说辑补校定》[3][4]。可见时人对蚕桑业之重视和知识之快速增长。

（三）柞蚕放养技术

我国古代对野蚕茧的利用至迟始于汉，之后，文献上常有一些记载。宋、元以前，柞蚕的用途主要是：（1）用其丝絮以防寒。（2）用其丝拉线纺织粗帛。宋、元之后，柞蚕首先在山东的登、莱等地有了人工放养，并仿效家蚕缫丝织绸，获得成功。但有关柞蚕放养技术的记载一直未曾看到；及清，放养技术逐渐成熟起来，有关记载也多了起来。

在现有资料中，关于柞蚕放养技术的记载始见于明末清初益都（今山东淄博）人孙廷铨（1613～1674年）《南征纪策》卷上“山蚕说”[5][6]。顺治八年（1651年），孙廷铨受清世祖派遣，由京师琉璃厂起身，前往南方祭告禹陵和南海；沿途见闻颇多，他便以日记形式将之记述了下来，汇成是书；关于柞蚕的记载是顺治八年六月初四（己酉），过山东诸城县石门村的一篇日记。其云：“野蚕成茧，昔人谓之上瑞。乃今东齐山谷，在在有之，与家蚕等。蚕月抚种，出蚁蠕蠕然，即散置槲树上……弥山遍谷，一望蚕丛。”在谈到饲养时，其说到过两件值得注意的



事项：一是“听其眠、食。食尽，即枝枝相换、树树相换，皆人力为之”。二是野蚕“生而习野，日日处风日中、雨中不为罢；然亦时份水暵，畏雀啄”。接着，文中还谈到了柞蚕的抽丝法：“练之。取茧置瓦罋中，藉以竹叶，复以茭席。洸之，用纯灰之卤。藉之，虞其近火而焦也。复之，虞其泛而不濡也。洸之，用灰柔之也。厝火焉，朝以逮朝，夕以逮夕，发复而视之。相其水火之齐，抽其绪而引之，或断或续，加火焉，引之不断乃已。去火而沃之，而盝之，俾勿燥。辟之不用缫车；尺五之竿，削其端为两角，冒茧其上，重以十数，抽其绪而引之”。这里有两点值得注意：一是亦须“加火焉”；二是“辟之不用缫车”。可见其与家蚕抽丝是有区别的。

大约康、乾时期，柞蚕先后在陕西和贵州等地推广开来。陈宏谋《巡历乡村兴除事宜檄》载：“宁羌（今强宁县）则采取槲叶，喂养山蚕，织成茧绸，因系前州刘名棨者教成，遂名刘公绸。”[7]刘棨，山东诸城人，康熙时曾任陕西宁羌知州。说明康熙时，柞蚕业已由山东推广到了陕西。贵州放养柞蚕之事约始于乾隆七年（1742年）。吴振棫《黔语》卷下“槲茧之始”载：“遵义食槲茧，利自太守陈公始，公……山东历城人。”“乾隆三年来守遵义，地故多槲，仅供爨薪。公曰：此吾乡登莱间树，可蚕也。遂自山东购山蚕种，且以蚕师来，中道蛹出而罢。六年复遣人归，期已冬至，蛹不得出。明年乃蚕，蚕大熟，乃遣蚕师四人，教四乡蚕；又筑庐于城东水田坝，命善织者教民以手经指纬之法。授以种，资以器，八年（1743年）得茧至八百万。自是郡人户养蚕，今百余年为黔富郡。”[8]中道蛹，即由山东到遵义的路上蚕蛹孵出。可见，陈太守遵义养蚕，几经失败遂成。之后不久，柞蚕又由遵义传到了四川；在其他一些地方，如江西等地，清代也都养起柞蚕来。

（四）缫丝用水的选择

清代早、中期的缫丝工具大体承袭了前代，具有特色的是：缫丝用水更为讲究；缫丝过程中，十分讲究换汤。

我国古代对丝绸漂练用水的选择至迟始于西晋时期，虽今见关于缫丝用水的文献却多属19世纪中期之后，但我们认为，此技术的产生年代应远在此之前。归结起来，选择标准主要有如下几项：

（1）用清澈之水。卫杰《蚕桑萃编》（1900年）卷四“缫茧类·清水”载：“缫茧以清水为主，泉源清者最上，河流清者次之，井水清者亦可。如山涧中水，须择溪中极清者，或流自石罅间。”“用水不清，丝即不亮。”[9]汪日桢《湖蚕述》（1874年）卷三说：“丝用由水煮，治水为先。有一字诀曰清，清则丝色洁白。”[10]清人范颖通《研北居琐录》在谈到七里湖丝时说，七里附近“有穿珠湾，水澄清，取以缫丝，光泽可爱”[11]。“七里”是距南浔七里远的一个小村。村东有雪荡河，在穿珠湾附近分流到苇里村的淤溪。七里湖丝在明万历时便已崭露头角；清康熙晚年，南浔丝商将“七里丝”之名雅化，成为“辑里丝”[12]。这两条文献中，前者泛指一般清澈之水，后者指特定地区、特定水域的清澈水。

清沈练《广蚕桑说辑补》卷下“饲蚕法·缫丝器具说”载：“缫丝之水，择溪涧之极清者取之（原注：自石罅流出者尤佳），勿用井水（原注：用井水者丝不

亮)。”“仲昴庭按：用井水而丝不亮者，其水必带咸味，或黯浊不清故也。”[13]此强调溪涧清澈之水，且勿用井水。“勿用井水”之因，是碱味对丝质有不利的影响。

(2) 若无自然清水时，可用人工将水澄清；可自然澄清，也可用螺帮助，但忌用矾。汪日桢《湖蚕述》卷三载：若无极清之水时，“须于半月前用旧缸贮蓄，以待其清。缫丝之时，恒多雨水，河水涨溢，浑浊难清，故须先时预贮；如或不及于贮，缸旧则不汎。如或不及预贮，临时欲其澄澈，当取螺升许投之，螺涎最能洁水。大忌用矾，丝遇矾水，色即红滞”[10]。成都还有人工过滤法。卫杰《蚕桑萃编》卷四“缫茧类·清水”载：“成都有沙缸滤水之法。置上下二缸，上缸盛沙，缸底隔之以布，穿小孔安竹管，水由上缸流入下缸，清洁无滓。或投螺升许于缸内，无用白矾，使茧滞难缫。”[9]此前一段文献谈到的“矾”可能是绿矾，即七水硫酸亚铁 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$，水解后，若其中的 $Fe^{2+}$ 转变成 $Fe^{3+}$，就会使丝发红；“白矾”即明矾，化学式为 $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$，水解后，其中的 $SO_4^{2-}$ 会使水的 pH 值发生变化，从而影响丝胶的膨润。绿矾中的硫酸根离子也会改变水的 pH 值[14]。

(3) 河水、流动之水。《湖蚕述》卷三“缫丝”条：缫丝，“须明水性，使水不为丝疵。山水性硬，其成丝也刚健；河水性软，其成丝也柔顺；流水性动，其成丝也光润而鲜；止水性静，其成丝也肥泽而绿。山水不如河水，止水不如流水(原注：止水不宜独用，须用流水对半调和，以其色太绿也。《吴兴蚕书》)”[10]。看来，影响缫丝用水质量的因素主要是两方面：一是所含矿物质的多少和种类；二是微生物的多少和种类。流水、清澈之水，所含矿物质和微生物都较少；止水、不太清之水和部分井水，所含矿物质和微生物则可能较多；碱味之水、明矾澄清之水，皆会对丝质产生不利的影响。

换汤是否勤快，也会影响到脱胶的速度和质量。《湖蚕述》卷三引《吴兴蚕书》云：“丝之色，汤清则鲜，汤浑则滞，故丝釜之汤，不可不频换。然待其浑而后换，则时清时浑，则丝不能一色到底矣。精于治丝者，时时察看汤色，微变则取出三之一，以清热水添满。频频添换，谓之走马换。”

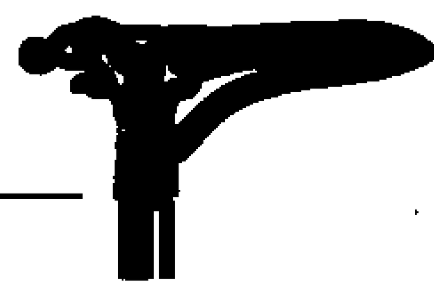
(五) 麻类纤维的洗练技术

此期麻类纤维的脱胶、洗练技术并无创新，大体上是沿袭了往昔的工艺，直到20世纪依然如此。《广东新语》卷一五“货语·葛布”载：雷州盛产蕉麻，有“山生或田种，以蕉身熟，踏之，煮以纯灰水，漂澼令乾，乃绩为布”。蕉麻，是一种有花无实的水蕉。此使用的依然是灰水煮，清水漂，取其纤维以之为布。这是清代早期的情况。民国《闽侯县志》卷二三“物产”载：“二月下种，五月割者为头苎；七月割者为二苎，九月割者为三苎。捣其皮，沤以灰水，织为夏布，粗细广狭，各随其机，各视其工。”此依然是沤以灰水。这是20世纪前期的苎麻纤维洗练情况。

**二、纺纱技术的发展**

(一) 棉纺技术

清代棉纺车大体承袭了前代工艺，计有手摇式和脚踏式两种，通常是1～3锭。





关于脚踏纺车的结构，嘉庆《松江府志》卷六“物产·木棉花”条曾作过专门描述：“纺车，以木为之，有背有足。首置木椗三，形锐而长，刻木为承。其末以皮弦襻连一轮上，复以横木，名踏条者。置轮之窍中，将两足抑扬运之。取向所成条子，粘于旧缕，随手牵引，如缫茧丝，皆绕铤而积，是名棉纱”[15]。这是指松江地区的脚踏纺车纺纱，此说纺车用木椗，其实明、清时代已大量地使用了铁锭。据《豳风广义》卷三“脚踏纺车”条载：“稍头留寸许安一立木牌，高二寸，厚七分，阔与横木齐，上刻一小口，如豆大(原注：如欲安二定者，刻二口)，以容铁定……中间硬安一木壳辘子，周围刻渠子(漕)二道，以承轻弦”。利用摩擦力来带动锭子转动。清孙琳《纺织图说》还专门谈到了木椗与铁锭的异同，“习学用手，脚车纺纱，木椗铁锭，理同事一。木椗纺纱细而光，铁锭纺纱慢而粗。木椗本易脆，铁锭可经久。总以初学时用木椗，则木椗便、益；用铁锭，则铁锭便。学而致之，皆可精成”。这几段文献中的“椗”、“定”、“锭”含义相同，都指纺车上的一个部件，清人对此三字常有混用的情况。

（二）大纺车技术

虽因棉纺技术的发展，丝、麻纺的使用地域大为收缩，但由于一些特殊需要，宋、元发明的大纺车技术不但保留了下来，并较多地用到了丝纺中；因丝较麻轻而细，清时人们还对纺车结构和操作做了不少改进；其思路精妙，生产率较高，备受后世学者关注。

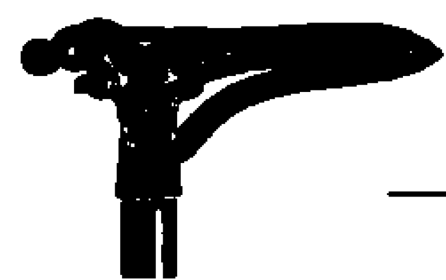
明、清丝纺车可分为“水纺”和“旱纺”两种，前者即江浙式，后者即四川式。卫杰《蚕桑萃编》（1897 年）卷一一“图谱·水纺图说”载：“纺丝之法，惟江、浙、四川为精。”[16]说江浙和四川这两个地区的丝纺技术水平最高。同书卷五“纺政·水纺类”在解释这两类纺车的名称时说：水纺摇经车（江浙式），“纺以水名，重淘洗也。因潮，重风燥；水性带泥，浊尘易沾，故倒经必过水盆，摇经必过水鼓，所以倒洗三次，摇洗亦三次。是纺中洗经则易净，经必湿，纺则愈紧，色自鲜亮”[17]。旱纺摇经车（四川式），“纺而曰旱，用水少也。因天气温和，水不加泥，室不起尘。以细毡片泡水，搭于水淋竹上，令经丝擦过，所以去尽污浊，而求纯洁。愈湿愈净，愈紧练也。色自鲜亮”[17]。该书曾详述了此两种纺车的结构，且曾附图，为我们了解清代纺车的结构提供了很好的依据。据调查，直至 20 世纪 70 年代，与之相类似的水纺车在湖北江陵和四川仍可看到。

从《蚕桑萃编》所述和湖北、四川保留下来的实物看，清代大纺车较宋、元时期又有了如下几点进步：

（1）纺车框架由长方形改成了梯形，纺车更为稳定。

（2）纱锭由单面排列改成了双面排列，或说由竖直排列改成了横卧排列，就增加了每台纺车的锭子数。宋、元纺车每台仅 32 锭，清代则增至 50 或 56 锭。同时，锭子还由中空的桶状改成了实心的杆锭状。

（3）增设了给湿定形装置，即竹壳水槽（江浙水纺车）或湿毡（四川旱纺车），使纱管上卷绕的丝条能浸在水中，或使丝条在加捻时，因穿过湿毡而被润湿。这不但可提高丝条张力，防止加捻时脱圈，亦有利于稳定捻度和涤净丝条[18][19]。





（4）皮弦改成了由锭子底部通过，从而提高了锭子的稳定性。往昔，皮弦是从锭子侧面通过的，易于造成锭子摇摆。

（5）导纱方式更为合理。宋、元纺车是靠“小铁叉”完成导纱的，清代纺车则靠“交棍竹”导纱。此交棍竹并非简单地完成导纱工作，而是摆动着使丝线能分层卷绕。

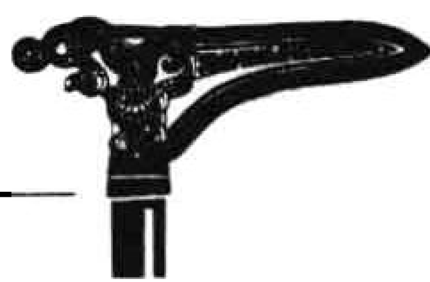
（6）车架一侧的导轮直径大为缩小，操作更为省力[19]。

在此有一点需顺带说一下的是，棉纺车有手摇式和脚踏式两种，手摇式还一直沿用到了20世纪50年代；丝纺则多是脚踏式的；这是棉纺与丝纺的一个重要区别。清卫杰《蚕桑萃编》卷一一“图谱·脚踏纺车图说”：“丝绵纺车与木棉纺车异。木棉纺芒短易扯，一手搅轮，一手扯棉，便纺成线。丝绵芒长，力劲难扯。一手执茧，一手扯丝，必须用脚踏转车方能成线。”[16]

**三、织造技术的发展**

清代早、中期的织机已相当完善，尤其是提花机，《豳风广义》、《蚕桑萃编》等都有较为详细的描述；前者反映的大约是清代前期的陕西提花机，作者杨屾（1699～1794年）系陕西兴平人；后者则反映了清代江南提花机的实际水平。

杨屾《豳风广义》卷三“织纴图说”载，织机种类甚多，就以他家用过的简便之机言，“亦能织提花绫绢绸纱，但其制难以笔罄”。其一般操作是：“织时将经缕根根穿过综环。综俗呼为缯。综制用木五根，径六分，造成方架，阔长各二尺，中安一梁。二人对坐，以综线二环相套，縛（缚，薄摊）于架上；或一千，或千五，或二千，足数而止。再用细竹竿二根，大如小指，长二尺二寸；将综线两边领起，卸去综架，挂在机顶罗面桄之上。每综一付（副），下用脚竿棍一根，安在机之中间，以便蹑交。若织无花绢缣，只用综二付（副）；若织提花绫缎，将综线縛（缚，薄摊）于范架之上，用十付（副），下用脚竿棍十根。又将渠（衢）线从花样中穿过，挂于花楼之上。花之式样，随人所便。乃江南织工以丝线盘结而成者……织时一人坐在花楼之上，手提渠（衢）线，一人坐在卷幅之后，以脚次第蹑竿，旋提旋织，自然成花。又将经缕前后二根相并，穿过绳齿。以数丝拴一结，复贯在小竹棍子上。长与卷幅齐。牵引经缕，縛（缚）在卷幅之上，两边再拴边线十二根。织不另挂边线，纬束（缩）经线窄小必不能织，须用双丝合成壮线，经挂拾交如上法，收在边筐篗之上。在后边桩外侧锭（定）一铁环。将边线从环中穿过，牵引至前滕子，对高梁上再锭（定）一环；复穿过引下，将边线停分开。用竹片二个，长六寸，上各钻六孔，将线复穿过孔中，引至综环，分左右各贯六环，复穿过绳边齿三眼内，紧系卷幅上。织时用甎（砖）一块，约重斤余，用绳子挂在边篗之上，自然边线绷紧，纬不能束（缩）边，易织。再绸面用撑幅两根，用竹片两个，阔二指，长与幅等，厚三分，两头各锭（定）半截钉三根，长二分，紧撑在幅上。机制经纬，安装停当，然后推撞抛梭，自然成幅。织具无他奇，惟人自便，智者斟酌损益而为之，自见其妙。”（图9－5－1）[20]这种提花机的设计思想和各部件尺寸，都发展得较为完善。《蚕桑萃编》所示提花机大体包括五大部分：（1）排担机具，即送经部分。（2）机身楼柱机具，以起花楼。（3）花楼柱机具。花楼即提花束综部分。（4）提花线各物件。提花线即提花束综。（5）三架梁各机件[21][22]。



它们皆大体反映了清代提花技术的先进水平。

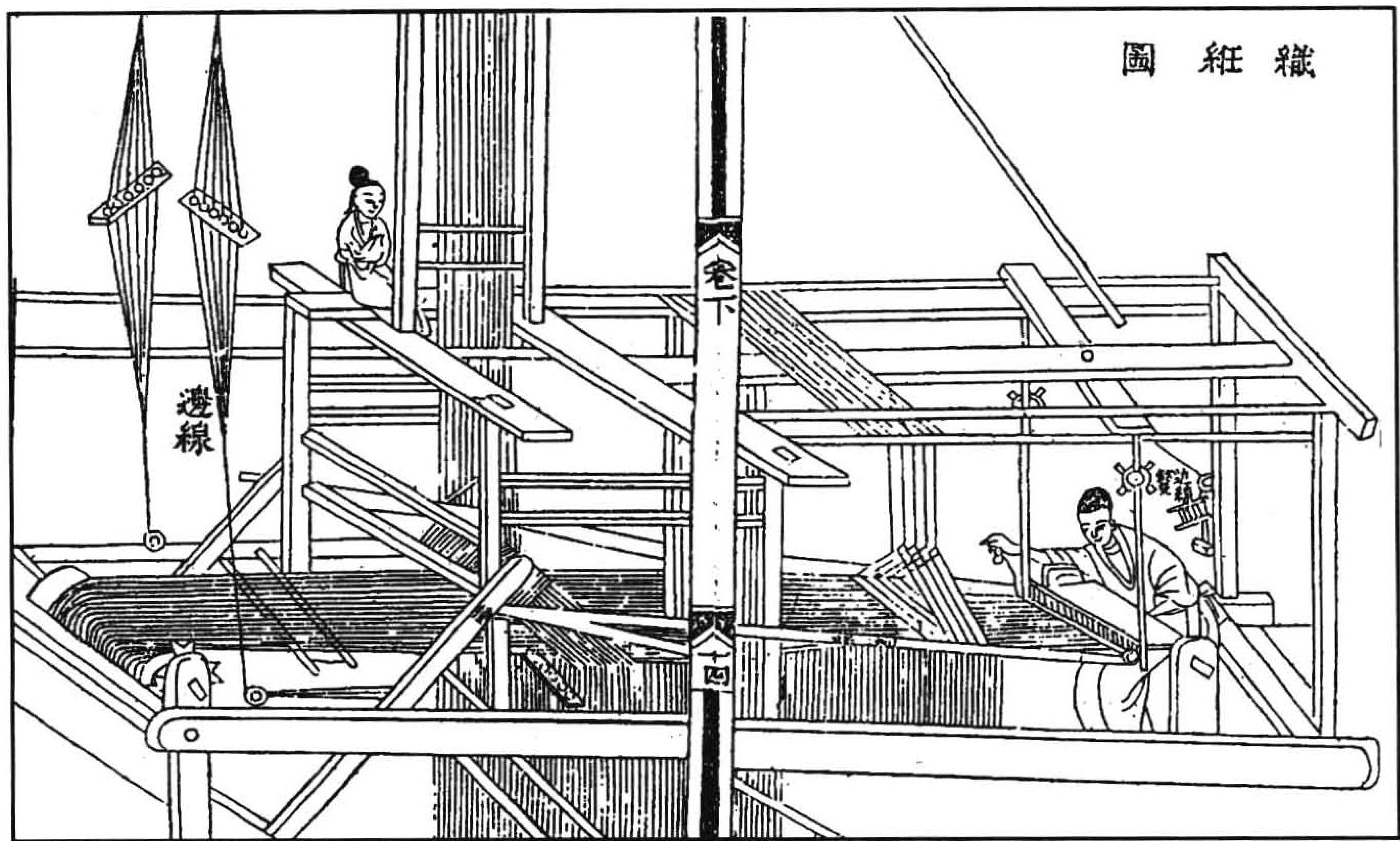



图 9－5－1　清《豳风广义》所载织纴图

在织造过程中，人们已注意到了干湿度对生产过程和织物质量的影响，并采取了一些调节湿度的措施。《双林镇志》卷一六“物产”载：浙江双林织户，“天阴则箱下置火盆，燥则喷水，必顺天时也”。

清代纺织业的规模已经较大，提花机之多少通常就成了衡量作坊规模的一个重要依据。在官府手工业的东南三局中，苏州局织机数最多，康熙时上用缎机 420 张，“部机” 380 张[23]；乾隆时织机总数达 663 张[24]。杭州局次之，康熙时共有织机 770 张，其中上用缎机和部机各 385 张[23]；乾隆时有织机 600 张[24]。此“缎机”是织造上贡缎匹等物的，“部机”则是织造赏赐缎匹等物的。江宁局又次之，康熙时计有织机 565 张[2]；乾隆时有织机 600 张[24]。这是官府在东南三个织造局的情况。东南一带的民营织造业也相当发达。以江宁为例，其织机种类有花机、绒机、纱机、绸机等[25]；乾、嘉之际，全城织机达三万张以上，“缎机以三万计，纱绸绒绫不在此数”。仅“织缎之机，名目百余”，最为精巧者，“其经有万七千头者”[26]。

## 四、漂练和印染技术

清代丝、麻、棉织品的漂练工艺都较讲究，但多沿用前世的一些工艺，如对麻织品则依然采用沤练与草地晒白相结合的方法。徐缙等撰《崇川咫闻录》卷一一在谈到江苏通州苎布漂练工艺时说：“取苎麻辟纻织就，湅和石灰、灰藋少许，漂之河中，曝之草上，色白。”对棉布漂练也有一些创新，但有关记载较少。

从传统工艺调查来看，南方清代的棉布可能采用过多种漂白法，较为习见的有：（1）灰水煮沸捶捣曝晒法。先用稻蕙秆烧灰，沥清后，将棉布放入灰水中煮一沸，之后捶捣洗净、日光下曝晒；如此反复多次。此法较为简便，使用较广，20 世纪 50 年代还可看到。（2）发酵捶捣法。先在砂缸内盛贮发酵液，后将待练之




棉布用石块压于液面之下，经一昼夜，将棉布取出，挤出水液，置木台上用木棒捶捣，之后再投入缸中压于液面之下，如此反复多次，至手感柔软为止。此发酵液常用小麦粉的洗面筋残液，也可将小麦麸投入缸水中，自然发酵而成。这种发酵液含有大量的果胶酶、蛋白酶和纤维素酶，均有助于去除棉纤维上的天然杂质。此多用于大批量处理[27]。

我国古代染色技术发明较早，先秦时期便建立了套染、媒染和草石并用等染色工艺；两汉之后，植物性染料迅速推广开来，栀子染成的金黄色，茜草媒染的深红色，靛蓝还原染色等均已成熟，同时还使用了复色套染。元代还使用了同浴拼色工艺，依次以不同的染料或媒染剂浸染。清代早、中期主要沿用前代的染料工艺，因其技术精良，色谱较宽，个别工艺上亦有创新，故染色效果还是不错的。

据李斗《扬州画舫录》卷一载，“扬州染色，以小东门载家为最”，能染 40 余种颜色。如红色，有淮安红、桃红、银红、靠红、粉红、肉红；紫色，有大紫、玫瑰紫、茄花紫；白色，有漂白、月白；黄色，有嫩黄、杏黄、蛾黄；青色，有红青、金青、玄青、虾青、沔阳青、佛头青、太师青；绿色，有官绿、油绿、葡萄绿、苹婆绿、葱根绿、鹦哥绿；蓝色，有潮蓝、翠蓝。此外还有黄黑色、紫黑色、白绿色、浅红白色、浅黄白色、深紫绿色、红棕色、黑棕色、紫绿色、硃墨色，以及茹花、兰花、栗色、绒色等，可见名目之多。其中有纪地的，如淮安红、沔阳青等。有因姿定名的，嫩黄，如桑初生；虾青，青白色；蛾黄，如蚕欲老。有依习惯定名的，如玄青，玄在緅缁之间，合于则为黝艴；佛头青，即深青。有特殊纪名的，如太师青，“即宋染色小缸青，以其店之缸名也”。

元、明之后，染液用灶加热已成普遍采用的工艺，及清，有关记载更为具体、明确。《双林镇志》卷一六“物产”载：“凡绢必染皂，皂必煮以橡斗、铁沙，然后漂以清流，敷以蕨粉，捣以砧石，抹以絮布，其工最繁。故染有灶、有场、有架，名曰皂坊。”此简要地谈到了漂练和染色的一般情况，突出地谈到了染必有灶。同治《湖州府志》卷三三在谈到湖州染丝时说：“染有灶，有场，有架，名皂坊……又有一种胶坊。”

颜料印花在清代依然是一种重要的印花工艺，它在沿用前世操作的同时，也有一些创新。其中较值得注意的是：

（1）维吾尔族地区发明了印花木戳和木滚。木戳面积较小，其雕有所需图案，其中既有阴纹，也有阳纹，蘸上色料后便可直接压印在白布上；此木模可以单独印花，也可做成二方连续、四方连续等各种组合，适于小单元印制。木滚在刻制时安排了花位循环，为大幅度印制打下了良好的基础（图 9－5－2）[28][29]。

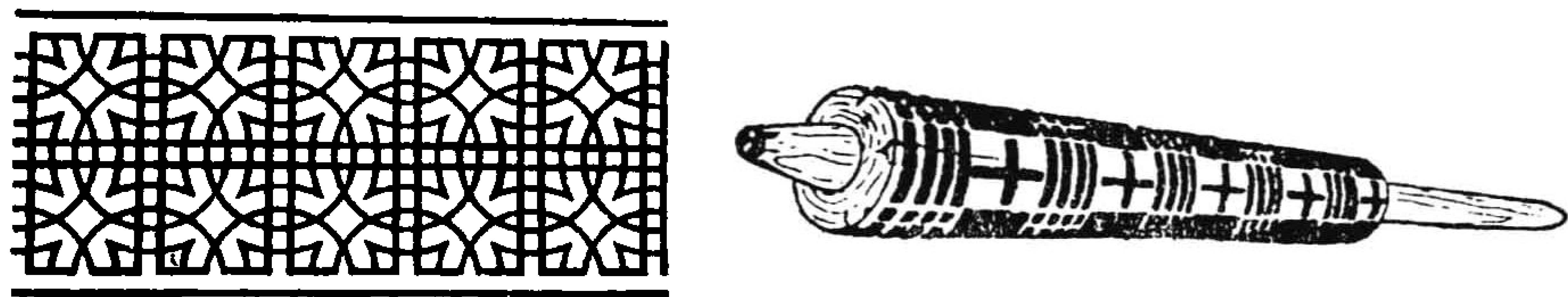
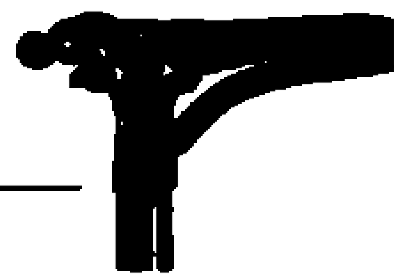


**图 9－5－2　维吾尔族地区木戳印花图案和印花木滚**

采自文献[29]



（2）型板印花分出了刷印花和刮印花两种工艺。褚华《木棉谱》载："染工：有蓝坊，染天青、淡青、月下白；红坊，染大红、露桃红；漂坊，染黄糙为白；杂色坊，染黄、绿、黑、紫、古铜、水墨、血牙、驼绒、虾青、佛面金等。其以灰粉渗胶矾涂作花样，随意染何色，而后刮去灰粉，则白章烂然，名刮印花。或以木版刻作花卉人物禽兽，以布蒙板而研之，用五色刷其研处，华采如绘，名刷印花。"[30]前部分所说为棉布的一般染色，后部分所说则是两种印花法。棉布多作大众衣料，故染色亦较丝织品稍见简单。此印花之法，此前是不曾见于记载的。

**五、丰富的纺织品**

清代的纺织品较为丰富，丝、麻、棉各类纤维织品都发展到较高水平。但从织造技术和织物组织上看，最具代表性的依然是丝织品。官府织造局的生产，主要是为满足宫廷和官府的需要，各局之间都有一定分工。苏州局，主要"分织龙衣、采布、锦缎、纱绸、绢布、棉甲，及采买金丝织绒之属。岁由府拟定色样及应用之数，奏行织造"[31]。江宁织造局，主要"造作缣帛纱縠之事"，并织造"神帛，以事神示宗庙；诰敕以封赠文武庶官，采缯以待庶用"[32]。因其技术力量较强、要求较高，资金和设备较为雄厚，故产品质量一般亦较好。清代民间丝织物中，江、浙、川、粤、鲁等地都出现了一些名牌产品，其中较值得注意的主要是如下几种：

南京云锦。[33][34]因其文采华贵、绚丽如云而得名。其约始于元而盛于明、清，它的出现当与南京官营织造有关，明、清时期主要生产宫廷贡品，清代晚期发展到成熟的阶段，"云锦"之名亦是这一时期出现的。其织品主要是妆花、库锦、库缎三种，最具代表性的品种是妆花，它也是中国古代织锦水平的反映。但云锦中有的品种已不属锦的范围。云锦构图庄重严谨，高度概括，用色浓艳，常用金片勾边，其挖花妆彩工艺精湛，晕色调和，层次分明，花纹繁而不乱，配色艳而不俗。南京大学历史系收藏有乾隆时期的"白地青花四合纹锦"，采用表里换层的双层平纹提花组织，与一般织锦，如宋锦、妆花缎相比较，更显得质薄和柔软，图纹布局丰满，设色深沉而淡雅。

缎类织物。缎组织约出现于唐，宋代即已形成，清代尤为盛行，其江南三局都曾生产，尤其是江宁。甘熙《白下琐言》卷八载："蚕桑盛于苏浙，金陵间亦习之，然丝质粗肥，远逊湖宁，惟织工推吾乡为最。入贡之品，出自汉府，民间所产，皆在聚宝门内东西，偏业者不下千数百家，故江绸贡缎之名甲天下。"[35]即是说，江宁之业，以织为大宗，而织之业，以缎为大宗。此书成于道光二十七年。其实，不但东南三局，就连边远的岭南广东也产缎。乾隆《广州府志》卷四八载："粤缎之质密而匀，其色鲜华，光辉滑泽。然必吴蚕之丝所织，若本土之丝，则黯然无光，色亦不佳。"

此时漳缎仍在发展，而且清代苏、杭生产的漳缎都颇具特色，尤其是苏州漳缎，其绒毛纤细而挺立不倒，深受世人垂青。其主要技术措施是：绒经采用了加有一定捻度的蚕丝，遂使绒毛挺立。又，其地组织与绒经配合亦较好，绒经的绒头不在地经交叉处，而在地经浮长处伸出，亦有利于绒毛挺立。道光时，苏州机户多织漳缎。

绸子。在江宁、湖州等地都有生产。宁绸无论平素还是织花，皆精细柔韧、

富有光泽。湖绸又有许多不同品种，乾隆《湖州府志》卷四一“物产”载：“湖紬散丝而织曰水紬，纺丝而织曰纺紬。水紬、纺紬，出菱湖者佳。”

绉类织物。湖州等地都有生产。湖绉起于明，其光泽柔和，富有弹性，起绉效果极佳。乾隆《湖州府志》卷四一“物产”载：其“亦有花有素，而素绉纱大行于时。又有绉纱手巾，雅俗共赏”。清代后期，浙江濮院镇仿湖绉织法，生产出一种“濮绉”，很是使人注意。

纱类织物。广州、湖州、江宁、苏州、杭州等地都有生产，以广州为佳。乾隆《广州府志》卷四八载：“粤纱，金陵、苏杭皆不及。然亦用吴丝，方得光华，不褪色、不沾尘，皱折易直。故广州纱甲于天下。”

棉布。在江苏、河北、湖南、贵州、四川、福建等地都生产过一些名牌产品[36]。其中尤以江苏的松江布，全国负有盛名。康熙《松江府志》卷五载：其所出“精线绫、三梭布、漆布、方布、剪绒毯，皆为天下第一”。其还生产过一种夹丝布，同书卷四说：“以丝作经，而纬以棉纱，曰丝布，即俗所称云布也”。南京棉布也颇受世人关注，1833年2月出版的《中国博览》一书说：“南京土布是棉布的一种，因最初出产带红色棉纱的南京（紫花布）而得名。这种布分为‘公司布’（Company）和窄布两种，前者最为名贵……中国织造的南京土布在颜色和质地方面，仍然保持其超过英国布匹的优越地位”[37]。这应是恰如其分的评价。其中所云以红色棉纱织成的紫花布，在松江、青浦，以及北方的冀州亦有生产。范清旷《（乾隆）冀州志》卷七说：“棉花，近有紫花。棉布，近有紫花布。”冀州布之精美可与松江匹敌。《御制棉花图》方观承跋：冀州棉布之“产既富于东南，而其织纴之精”，可与松江类比。

麻织品。清代产量最大的纺织品当属棉类，技术水平最高的当属丝类，麻类织物是不可与之相比的，但其质量仍有不少提高。清时，广东、湖南、四川、安徽、江西、浙江等许多地方都曾产麻，尤以广东为盛为良。屈大均《广东新语》卷一五载：“其细者当暑服之。凉爽无油汗气，湅之柔熟如椿椒蚕绸，可以御冬。”其中又以雷州为良。“织成弱如蝉翅，重仅数铢，皆纯葛无丝。”若以葛与蚕丝交织，“以蚕丝纬之者，浣之则葛自葛，丝自丝，两者不相联属”[38]。李调元《南越笔记》卷五也有相类同的说法。

## 第六节　造纸技术

由明到清代中、晚期，除了明末清初的战争破坏外，我国古代造纸技术大体上皆处在一个相对高涨的阶段。清代末期之后，由于洋纸传入，传统造纸技术才逐渐衰落下来。清代造纸技术较值得注意的事项是：纸的产量、质量、品种都在明代基础上有了进一步的提高和扩展，各项操作更为纯熟；出现了“清宣纸”，使我国古代传统的手工纸走向更为成熟的阶段；有关造纸技术的许多记载也更为详细。

### 一、造纸技术发展的一般情况和清宣纸的出现

（一）产区的扩展

在清代，不管高档纸，还是普通纸，其产量、质量和品种都有了较大扩展，



不但旧产地，如江西、福建、浙江、四川、安徽的纸业仍在继续发展，而且还开拓了不少新产区；随着资本主义经济的产生和发展，资本、技术、人员都在更为广泛的地域内流动起来。此期纸业新区中，最值得注意的是广西和陕西等地，今以之为例作一简单说明。

乾隆《梧州府志》卷三引《容县续志》云："康熙间，闽潮来客始创纸篷于山中，今有篷百余间，工匠动以千计。"[1]稍后，光绪《容县志》卷六也谈到了同一事件："康熙间，有闽人来容教作福纸，创纸篷于山间。春初采扶竹各种笋之未成竹者，渍以石灰，沤于山池，越月碾漉成絮，濯以清流。又匝月下槽，随捞随焙，因而成纸。每槽司役五六人，岁可获百余金。至乾隆间，多至二百余槽。如遇荒年，借力役以全活者甚众。"[1]此两段文献都说到了康熙年间，福建人到广西容县开办纸厂之事，同时还简述了竹纸的一般工艺。

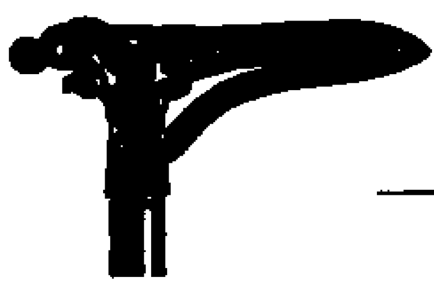
卢坤（1772～1835年）《秦疆治略》（成书于1824年前后）载："南乡有纸厂七座，厂主雇工，均系湖广、四川人。"[2]此说清代晚期时，湖北、湖南和四川人到陕西开办了纸厂；不但厂主和资金，就连雇工也是这些地方雇来的。

卢坤《秦疆治略》又载：宝鸡县有"纸厂三处，其中资本俱不甚大"。汉中府定远厅为嘉庆八年（1803年）新设，近来烟户渐多，"川人过半，楚人次之，土著甚少……并有纸厂四十五处……其工作人数众多"。西乡县道光三年（1823年）时共有52300余口，客民居多，土著不过十之一二。"山内有纸厂三十八座……每厂匠工不下数十人"。兴安府安康县"有纸厂六十三处，工匠众多"。兴安府砖坪厅有"纸厂二十二处，每处工作人等不过十余人"。紫阳县，"有三四家草纸厂，每家匠作不过三四人及五六人不等"。孝义厅亦有纸厂，但杂聚庸流[2]。道光《略阳县志》卷四载："乐素河两沟之地多产楮材，故其民三时务农，而冬则造纸为业。"[3]这些记载一方面说明了陕西南部造纸业蓬勃发展的情况，同时也说明了资金、技术和劳动力大范围流动的事实。在1803年之后，定远厅有纸厂45处；1823年时，安康府有纸厂63处，砖坪厅有22处；可见其数量之多。

严如熤《三省边防备览》（1822年）卷九"山货"条也谈到过陕西南部纸业的发展状况："西乡纸厂二十余座，定远纸厂逾百，近日洋县华阳亦有小厂二十余座。厂大者匠作佣工必得百数十人，小者亦得四五十人。山西居民当佃山内有竹林者，夏至前后，男妇摘笋砍竹作捆，赴厂售卖，处处有之。借以图生者，常数万计矣。"[4]自然，广西、陕西等新区所产之纸，当主要是普通用纸。

（二）清宣纸的出现

在清代造纸技术中，值得特别提出并进行专门研究的是清宣纸。清代中晚期之后，它在我国诸多手工纸中一枝独秀，经受住了众多洋纸的冲击和摧残，一直保留了下来，1917年还在巴拿马万国博览会上获得金奖，至今依然是书画家须臾不可缺少的物品，长时期来一直受到国内外纸业界、学术界的关注。胡韫玉（1878～1947年）《纸说·附宣纸说》（1923年）载：宣纸，"近自国内，远至东瀛，无不珍重视之，以为书画佳品"[5]。此话便大体上反映了这一实情。此清宣纸，实际上是在泾县纸的基础上，由仿明宣德纸开始，于清代中期逐渐形成的，它也是千百年来皖南造纸技术的发展和总结。





前面提到，皖南造纸技术早在唐代便已负盛名。《新唐书》卷四一“地理志”载：宣州土贡纸笔等物，歙州土贡纸、黄连等物。据查，宣州辖八县，即宣城、当涂、泾、广德、南陵、太平、宁国、旌德；歙州辖六县：即歙、休宁、黟、绩溪、婺源、祁门。除婺源外，其余大体皆处今安徽南部。在宋代，苏易简《文房四谱·纸谱》说：“黟、歙间多良纸。”在明代，《考槃余事》卷二“纸笺”条说南直隶庐州英山等有榜纸，新安有仿宋藏经笺纸。明代《徽州府志》卷二还谈到了楮皮纸的制作工艺。泾县纸在明、清时代亦颇受文人青睐，文震亨《长物志》卷七“纸”条说泾县连四纸最佳；明末方以智《物理小识》卷八说绵纸首推兴国和泾县。这些，都说明了皖南造纸技术在历史上的成就。但这“泾县纸”又如何演变成了“宣纸”呢？自清末以来，却一直存在不同说法。有认为此“宣纸”原是纪地纸，是“宣州纸”或“宣城纸”的简称，因泾县与宣州或宣城有着各种各样的关系；有说它原是纪年纸，是“宣德纸”的简称；至今依然争论不休。下面先对此两种观点作一介绍，之后再简述管窥之见。

对“纪地说”有利的资料主要有如下三条：

陈焯《湘管斋寓赏编》所载元、明时期60多幅书画中，称“宣城纸”者有15幅，称“宣德纸”者4种。说明宣城纸在明、清时期已负盛名。

光绪十四年（1888年）《宣城县志·物产》载：“纸，宣、宁、泾、太皆能造，故名宣纸，以檀皮为之。”其认为泾县纸、宁国纸、太平纸、宣城纸都可简称为“宣纸”。

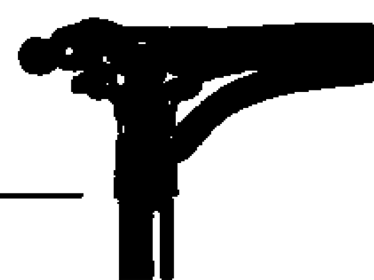
胡韫玉《纸说·附宣纸说》(1923年)载：“泾县古属宣州，产纸甲于全国，世谓之宣纸。”[5]此说泾县属古宣州，故泾县纸亦称宣纸。

在今世学者中戴家璋等是主张泾县“宣纸”为“宣城纸”，是纪地纸，而不是“宣德纸”的。他认为：因自古以来，以地名、人名、原料、用途及素质来命名的纸不胜枚举，以帝王年号来命名者则殊属罕见，而且泾县纸系民营纸，更不敢以年号来命名的[6]。

对“纪年说”较为有利的资料主要是下面两条：

乾、嘉时期，人们曾简称宣德纸为“宣纸”。清邹炳泰(1745～1805年)《午风堂丛谈》(1799年)卷八载：“宣纸至薄能坚，至厚能腻，笺色古光，文藻精细。有贡笺、有绵料，式如榜纸，大小方幅，可揭至三四张，边有‘宣德五年造素馨纸’印。白笺，坚厚如板面，面砑光如玉。洒金笺、洒五色粉笺、金花五色笺、五色大帘纸、磁青纸，坚纫(韧)如段(缎)素，可用书泥金（原注：宣纸，‘陈清’款为第一）；薛涛蜀笺、高丽笺、新安仿宋藏金笺、松江谭笺，皆非近制可及。”[7]这里谈到了“宣纸”的许多品种和性能，并说此宣纸以“陈清款为第一”，显然，此“宣纸”即是“宣德纸”。陈清，《人海记》作“陈青”。

泾县在清乾隆时曾仿造宣纸。沈初（1736～1799年）《西清笔记》“纪职志”（乾隆六十年，1795年）载：“泾县所进仿宣纸，以供内廷诸臣所用，匠人略加矾，若矾多则涩滞难用。”[8]此泾县“仿宣纸”的本意，显然是仿宣德纸，“宣纸”便是宣德纸。在明、清时期，泾县纸已负盛名，无须仿宣城纸；泾县本属古宣州，更无所谓仿宣州纸之说。





在今世学者中，曹天生是主张泾县宣纸源于宣德纸的。认为宣纸创于元、明之际，成熟于明代中期。宣德纸的诞生，是“宣纸真纸成熟的标志”，并把宣德纸、泾县仿宣纸，都称作了真宣纸[9]。

这是关于“清宣纸”来历的部分资料和两种代表性观点。

我们的看法是：今俗之所谓“宣纸”，其实是由泾县仿“宣德纸”演变过来的，亦可称之为“清宣纸”、“泾县宣纸”；其出现于清代中期，它也是千百年来皖南造纸技术的发展和总结；它与唐“宣州纸”、明“宣德纸”、清“宣城纸”，是有区别的，尽管这些名纸也曾被部分人称作“宣纸”；与清代中期之前的泾县纸也有不同。今人把泾县宣纸称作“真宣纸”、“正统宣纸”，都是世俗的说法，其实它是仿宣纸。当明“宣德纸”消耗殆尽，而“仿宣”纸的品质又大为提高，其产品充斥市场并受到文人青睐时，“仿宣纸”就成为“宣纸”了。这种变化，既是人们对仿宣纸的一种赞许，也是人们为着省事，舍去了其中“仿”字的结果。这种以“仿”充“真”、代“真”之事在历史上是经常可以看到的；如薛涛笺，本属唐代，但宋、元、明皆有仿制者，这种仿制品皆堂而皇之地称之为“薛涛笺”，而不称“仿薛涛笺”。我们提出这一看法的主要依据是前引《午风堂丛谈》和《西清笔记》。由这两种文献可见，（1）在清代中期，将宣德纸简称为宣纸，已是常见现象；（2）清代中期时，泾县已有了“仿宣”的工艺和名气。

戴家璋之说虽有一定道理，值得商榷处是：（1）《湘管斋寓赏编》只能说明宣城产纸，并不能说明宣城纸与泾县纸之间存在这种特殊的“代称”关系。（2）此《宣城县志》的说法需要斟酌。不管明代[10]，还是清代[11]，宣城和泾县皆是宁国府属县，它们是同级的；人们将“宣城纸”简称成了纪地性“宣纸”，是合情合理的；若把泾县纸简称成纪地性“宣纸”，则不好理解。因不管明代还是清代，“泾县纸”、“徽州纸”皆较“宣城纸”更负盛名。（3）《纸说》（1923 年）的年代稍晚，不宜作为今人的立论依据。（4）早在清代中期，人们便把明“宣德纸”简称为“宣纸”了，故戴家璋说以帝王年号为纸名者鲜，其立论依据恐非属实。（5）自明宣德之后，在众多冠以“宣”字的纸中，最负盛名的是“宣德纸”，而不是唐代宣州纸、明清宣城纸。人们舍此现实的名牌名号不用，而使用其他名号和含义，这是不好理解的。宁国纸、太平纸称为“宣纸”的原因较为复杂，原因之一当也是此“宣”字较为响亮、名贵和诱人；而这个响亮、名贵和诱人，自然都与“宣德纸”有关。

我们基本上同意曹天生的宣纸纪年说，但其认为宣纸创于元、明之际，成熟于明代中期，又说宣德纸的诞生，是“宣纸真纸成熟的标志”，则有一些不同看法。我们认为：今俗之谓宣纸，是从仿宣德纸开始的；仿宣前和仿宣后的泾县纸，在工艺上是未必相同的。我们不宜完全地将泾县纸、仿宣泾县纸等同起来；创于元、明之际，并成熟于明代中期的，大约是泾县纸，而不是仿宣纸。如若明代中期宣纸便已成熟，清代便不会出现“仿宣纸”了。

（三）清代纸的品种

评价任何一项技术的发展状况，大凡都有两项指标：一是这项技术的普及程度，二是其所达到的最高技术水平。二者不可偏废。前述陕西、广西纸业，大约

只从一个侧面说明了清代纸业之兴盛，但真正反映清代造纸技术水平的，则应当是某些高档纸。

清代高档纸的品种也是较多的，其中包括当世名纸、前世名品和外国贡品等。吴振棫（1792～1871年）《养吉斋丛录》（约1871年）卷二六在谈到各省所贡名纸时说："纸之属，如宫廷贴用金云龙硃红福字绢笺、云龙硃红大小对笺，皆遵内颁式样、尺度制办呈进。其他则有五彩盈丈大绢笺、各色花绢笺、蜡笺、金花笺、梅花玉版笺、新宣纸。旧纸则有侧理、金粟、明仁殿、宣德诏敕；仿古则有澄心堂、明仁殿、侧理纸、藏经纸、宣德描金笺。外国所贡，高丽则有洒金笺、金龙笺、镜光笺、苔笺、咨文笺、竹青纸、各色大小纸；琉球则有雪纸、头号奉书纸、二号奉书纸、旧纸。西洋则有金边纸、云母纸、漏花笺、各色笺纸。又，回部各色纸、大理各色纸。此皆懋勤殿庋藏中之别为一类者。"[12]其中的"绢笺"是一种裱有绢的厚纸；"新宣纸"，当是泾县宣纸。

泾县宣纸的品种亦较多，其中尤以胡韫玉《纸说·附宣纸说》（1923年）所述为详，此书年代虽然较晚，但大体上反映了清代中、晚期以后的情况。其云："泾县产纸之区，惟枫坑及大小岭与漕溪之泥坑……纸之种类，据县志所载，有金榜、璐王、白鹿、画心、罗纹、卷帘、公单、学书、伞纸、千张、火纸、下包、高帘衣诸名。千张、火纸以竹为之，下包、高帘以草为之，皆非上品不足论已。伞纸非文人之用。卷帘、连四、公单、学书不入书画之选。纸之佳者，厥为金榜、璐王、白鹿、画心、罗纹；罗纹近不常制。今纸统名画心，画心本澄心堂遗法，宜书宜画，为艺苑之珍宝。其长短有丈二尺、八尺、六尺、四尺之别；其厚薄有单层、双层、三层之异。"[5]这大体上也是一种综合分类法，"宣纸"只是一个总名，具体品名则依配料、尺寸、厚薄、颜色、加工方法及用途等不同而异。可见此泾县宣纸有檀皮纸、草纸，也有竹纸及檀草混合纸。有高档纸、普通纸，也有不能入档的火纸、草纸。在高档的画心纸中，也有各种不同尺寸、厚薄之别。因其为民营，时代也不一样，故其纸品与前述贡纸亦存在不少差别。

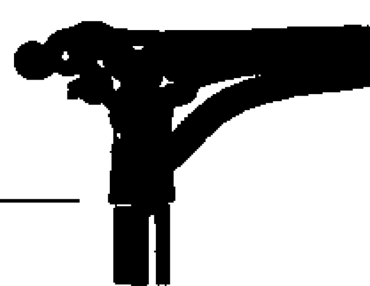
**二、原料选择**

由于商品经济的发展，整个明、清时期，造纸原料的供应范围都远远超出了"就地取材"的模式，原料种类也更多。如雍正十年(1732年)《江西通志》卷二七"土产"载：广信府，"玉山县东北乡有楮皮纸，广丰东乡亦有之，其树皮俱出自湖广。铅山、贵溪二县有白鹿纸，煮竹丝为之，今铅山者佳；有高帘纸，俗名蓬纸。上饶县有黄白表纸，亦有四连纸，俱不甚佳。弋阳黄家源、石垅等处杂竹丝、荻蒿为纸，止(只)可祭神不可写字"[13]。此造纸原料提到了树皮、竹丝、荻蒿等；广信府造纸用树皮竟出自湖广，这种大范围的原料采购模式大约自明代以来便形成，清时得到进一步的加强和改善。

清代造纸原料主要是竹子和树皮，其次是草料和破棉布，麻类已经很少，藤皮基本上已经消失。

竹料。竹纸在清代已占主导地位，其主要产地依然是南方的福建、江西、浙江、广西等地，陕西南部也有生产。

乾隆二年(1737年)《福建通志》卷一一"物产·建宁府"："纸出建阳、浦





城、崇安三县。又有稻稿纸出松溪。"[14]福建竹纸早在明代便已负盛名。此处虽未言明其以竹为原料，但下面紧接着便谈到了楮皮纸和稻草纸，故此为竹纸当无疑问。

雍正十年《江西通志》卷二七"土产"载：瑞州府，"竹纸即古之陡蠢，有老大、中大、罗端、晒纸、火纸等名，出新昌"。南安府，"竹纸出大庾行路阬，其阬之水惟一处可造纸"。吉安府，"竹纸，泰和县出"[13]。

道光《广西通志》卷三一"物产"载："纸，各州县出。又竹纸出六峝，近设官厂，制颇洁。"[15]

严如熤《三省边防备览》（1822年）卷九"山货"载："纸厂，定远、西乡，(大)巴山(区)林甚多，厂择有树林、青石、近水处方可开设。有树则有柴，有石方可烧灰，有水方能浸料。如树少、水远，即难做纸……纸厂则于夏至前后十日内，砍取竹初解箨尚未枝者。过此二十日，即老嫩不匀，不堪用。其竹名水竹，粗者如杯，细者如指，于此二十日内，将山场所有新竹一并砍取，名剁料。"[4]这里谈到了设立纸厂的资源条件和砍取竹料的时间。

皮料。在用量上，树皮在此期大约是仅次于竹的造纸原料。江西、陕西、福建、广西、湖北等地都有出产。主要是楮皮，也有桑皮，泾县宣纸使用青檀皮。

雍正十年《江西通志》卷二七"土产"载：九江府，"楮皮纸出瑞昌，草纸出德安"[13]。

雍正十三年《陕西通志》卷四三"物产·纸"载："兴元府贡蠲纸，金州贡纸（'寰宇记'）。为纸则有楮构（《盩厔县志》），洋县出楮纸，构皮可作纸（《商州志》）。"[16]

乾隆二年《福建通志》卷一一"物产·建宁府"："纸被，以楮树皮为之。"[14]

雍正《湖广通志》卷一八"物产附"载：武昌府兴国州出皮纸，"火纸出各州县"[17]。

道光《广西通志》卷三一"物产·思恩府"载："榖纸，田州、土州各土司出，以榖木为之，因名。""草纸，旧城土司出。"[15]

泾县纸最初也是使用楮皮的，方以智《物理小识》卷八所说兴国、泾县绵纸，可能就是楮皮纸。宣纸使用青檀皮的记载始见于前引清光绪十四年《宣城县志·物产》条，说宣城、泾县、宁国、太平等县都用青檀皮造纸。檀有青檀、紫檀、黄檀三种，后二者不宜造纸。自然，始用青檀皮的时间当较此为早。有学者认为，大约清代中期，泾县纸中便掺入了部分稻草[18]。

麻料。我国古代麻纸主要产于晋、陕、川、甘等地，明、清时期，虽因棉花种植扩大，麻类种植面积减少，但麻纸在一些地方依然保存着。如雍正《山西通志》卷四七"物产·平阳府"载："绵纸，以麻为之，有尺样、双抄诸名，临汾、襄陵出。"[19]

草料。《浙江通志》卷一〇四"物产"引《山阴县志》云，绍兴府山阴县南池出草纸[20]。道光《广西通志》卷三一"物产·思恩府"载："草纸，旧城土司出。"[15]如前所云，福建松溪出稻稿纸[14]，江西九江府德安、抚州府崇仁出草纸[13]，陕西商南县出草纸[2]。

### 三、竹纸抄造技术

及至清代，竹纸在我国便占据了主导地位，技术上亦更趋成熟。

雍正十年《江西通志》卷二七“土产·广信府”引“府志拾遗”云：“石塘人善作表纸，捣竹丝为之。竹笋三月发生，四月立夏后五日，剥其壳作蓬纸，而竹丝置于池中，浸以石灰浆，上竹楻锅煮烂，经宿，水漂净之。复将稿灰淋滗水，上楻锅煮烂，复水漂净之，始用黄豆汈注一大桶，楻一层竹丝则一层豆汈，过三五日始取为之。白表纸止用藤纸药，黄表纸则用姜黄细舂末，称定分量。每一槽四人，扶头一人，舂碓一人，检料一人，烘干一人，每日出纸八把。”[13]此简单地谈到了砍竹时间、石灰水浸渍、楻锅煮烂、洗涤、加入黄汈、加入纸药、舂料等工序。其中较值得注意的是，石灰水煮烂（一般都说石灰水蒸料）、黄豆汈的使用和黄表纸加入姜黄的工艺。

严如熤《三省边防备览》（1822 年）卷九“山货”条也谈到过竹纸工艺，而且所述较详：“于近厂处开一池，引水灌入。池深二三尺，不拘大小，将竹尽数堆放池内，十日后方可用。其料须供一年之用，倘池小竹多，不能堆放，则于林深阴湿处堆放，有水则不坏，无水则间有坏者。从水内取出，剁作一尺四五寸长，用木棍砸至扁碎，篾条捆缚成把，每捆围圆二尺六七寸至三尺不等。另开灰池，用石灰搅成灰浆，将笋捆置灰浆内蘸透，随蘸随剁，逐层堆砌如墙。候十余日，灰水吃透。去篾条，上大木甑。其甑用木拈成，竹篾箍紧；底径九尺，口径七尺，高丈许，每甑可装竹料六七百捆。蒸四五日，昼夜不断火，甑旁开一水塘引活水，可灌可放。竹料蒸过后，入水塘，放水冲浸二三日，俟灰气泡净，竹料如麻皮，复入甑内，用碱水煮三日夜。以长铁钩捞起，仍入水塘淘一二日，碱水淘净。每甑用黄豆五升、白米五升，磨成水浆，将竹料加米浆拌匀，又入甑内再蒸七八日，即成纸料。取下纸料，先下踏槽。其槽就地开成，数人赤脚细踏后，捞起下纸槽。槽亦开于地下，以二人持大竹棍搅极匀，然后用竹帘揭纸。帘之大小，就所做纸之大小为定。竹帘一扇，揭纸一层，逐层夹叠，叠至尺许厚，即紧压。候压至三寸许，则水压净。逐张揭起，上焙墙焙干。其焙墙用竹片编成，大如墙壁，灰泥搪平，两扇对靠，中烧木柴，烤热焙纸。如细白纸，每甑纸料入槽后，再以白米二升磨成汁搅入，揭纸即细紧。如作黄表纸，加姜黄末即黄色。其纸大者名二则纸，其次名圆边纸、毛边纸、黄表纸。二则、圆边、毛边论捆，每捆五六合，每合两百张。每甑之料，二则纸可作三十捆，圆边、毛边纸可作三十五六捆，黄表纸论箱，每甑作一百五六十箱。染色之纸，须背运出山，于纸坊内将整合之纸大小裁齐，上蒸笼蒸干后，以胶矾水拖湿，晾干刷色。此造纸之法也。”[4]

此叙述了陕南竹纸生产的全过程，归结起来，基本工艺程序是：（1）清水浸料。竹料须浸泡十日，泡过后堆于林深湿处。所泡之料须足一年用。（2）石灰水浸泡，须十余日。浸泡前，竹料须剁断、砸碎、打捆。（3）木甑蒸煮，经五六日。（4）水塘浸泡二三日，以去除灰水。此时，竹料已如麻皮。（5）复入甑内，碱水蒸煮三日夜。（6）复入清水塘中淘一二日，淘净碱水。（7）复入甑，用黄豆浆和白米浆蒸煮竹料，经七八日，即成纸料。（8）入踏槽，数人细踏纸料。（9）入纸槽，搅极匀。若为细白纸，则须以二升白米磨成浆搅入；若作黄表纸，则加入姜



黄。(10) 捞纸。(11) 揭纸、压干、焙干、打捆。(12) 凡染色之纸，须裁齐、蒸干、拖胶矾水、晾干后方能刷色。

与前云明代造纸工艺相比较，有几点值得注意的是：(1) 此以豆浆和米浆当作纸药用，而前云明代抄纸是以植物粘液作纸药的。(2) 与前述明代竹纸工艺同样，此亦未说到日光漂白。(3) 此焙纸用竹墙，前云明代焙纸用砖墙。(4) 前面提到了水碓捣料，而此用人工以脚细踏。这种差别，很可能与各地自然条件、操作习惯和对产品质量的要求有关。前云明代江西造纸工艺，主要是指贡纸、高档纸，此陕南造纸工艺，大约主要指普通纸。

清黄兴三 (1850～1910年)《造纸说》(约1885年)[21]亦曾较为详细地记载过清代浙江地区的竹纸技术，与明宋应星《天工开物》所述竹纸工艺相差不大，主要差别是《造纸说》提到了日光漂白工艺；今仅将有关文字摘录如下："造纸之法，取稚竹未枋者，摇折其梢，逾月斫之。渍以石灰，皮骨尽脱，而筋独存，篷篷若麻，此纸材也。乃断之为二，束之为包，而又渍之。渍已，纳之釜中，蒸令极熟，然后浣之。浣毕，曝之。凡曝，必平地数顷如砥，砌以卵石，洒以绿矾，恐其莱也，故曝纸之地不可[种]田。曝已复渍，渍已复蒸，如此者三，则黄者转而白矣。其渍也必以桐子若黄荆木灰，非是则不白，故二者之价高于菽粟。伺其极白，乃赴水碓舂之，计日可三石，则丝者转而粉矣。犹惧其杂也，盛以细布囊，坠之大溪，悬版于囊中，而时上下之，则灰汁尽矣。粲然如雪，此纸材之成也"。这里谈到了由砍竹到打浆的整个工艺过程，基本操作是：(1) 砍下嫩竹。(2) 以石灰水浸渍，并敲打成竹丝。(3) 截断后打包又浸。(4) 石灰水蒸料。(5) 清水冲洗。(6) 日光曝晒漂白。晒场宜砌以卵石，其上须洒绿矾，以防苔类滋生。(7) 用桐子灰水或黄荆木灰水浸渍，并清水冲洗、日光漂白，如是者三次。(8) 水碓舂之。(9) 盛于细布袋内，在大江中冲洗。此纸材之成也。之后便可加入纸药匀浆抄纸。其中最值得注意的是日光漂白，这是前述多种文献皆未曾提到的。日光漂白无疑会提高纸的白度，但也会延长生产周期。竹纸日光漂白工艺使用稍晚，文献记载也较少，看来主要与漂白效果和生产周期等因素有关。接着其又简要地谈到了抄纸过程："其制，凿石为槽，视纸幅之大小而稍宽焉。织竹为帘，帘又视槽之大小，尺寸皆有度，制极精……槽帘既备，乃取纸材授之，渍水其间，和之以胶及木槿汁，取其粘也。然后两人举帘对漉，一左一右，而纸以成。即举而覆之傍石上，积石百番并醡之，以去其水，然后举而炙之墙。"

**四、皮纸之抄造**

清代皮纸主要有楮皮纸、桑皮纸、青檀皮纸等。楮皮纸工艺与明代相差不大，清雍正《江西通志》便曾大段引述过明《江西大志》中的皮纸工艺，且无任何补充。说明其变化不会太大。青檀皮纸主要用于宣纸中，下面再作介绍。今简单地介绍一下桑皮纸工艺。

清佚名《蝶阶外史》卷四"桑皮纸"载："永平之地多老桑，居人植此为业，而育蚕者颇少，大者蔽牛中车，材柔条脆，干摧为薪……而其利尤在皮，剥之、劚之、揉之、舂之成屑，焙釜中令热。拓石塘，方广数尺，浸以水，调以汁如胶漆。制纸者，刳木为范，罨蝦须帘，两手持范，漉塘中去水存性，复置石板上，时揭

而曝之，即成纸矣。"[22]永平，在今江西南部的铅山县境。所述甚为简单，与一般皮纸工艺大体相类似。

**五、泾县宣纸抄造技术**

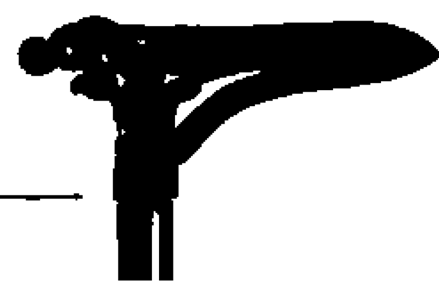
泾县宣纸质量较好，在国内外都享有崇高声誉。早在19世纪末至20世纪初期，日本人便对其工艺过程作了许多较为详细的调查和记录，并带走了许多极有价值的资料；但自清代中期以来，我国学者的记载却较少，且多较简单，其中较值得注意的是胡韫玉《纸说·附宣纸说》（1923年），在谈到泾县宣纸工艺时，其云："今则宣纸惟产于泾县，故又名泾县纸"。"其用料也，有全皮、半皮、七皮三草之不同。纸之制造，首在于料，料用楮皮或檀皮，必生于山石崎岖、倾仄之间者，方为佳料。冬腊之际，居人斫其树之四枝，断而蒸之。脱其皮，漂以溪水，和以石灰，自十余日至二十余日不等。皮质溶解，取出以碓舂之。碓激以水，其轮自转，人伺其旁。俟其融，再漂再舂，凡三四次，去渣存液。取杨枝藤汁冲之，入槽搅匀。用细竹帘两人共舁捞之。一捞单层，再捞双层，三捞三层，垒至丈许而榨之。榨干，粘于火�，随熨随揭，承之风日之处，而纸成矣"[5]。此"杨枝藤"应即杨桃藤。此简述了泾县宣纸工艺的全过程，谈到了原料选择、石灰水浸泡、蒸料和水碓舂捣等。但不太全面，有的地方亦不太确切。如，其原料只提到了楮皮和檀皮，未说到稻草；未提到日光曝晒工艺；少记了一道蒸煮工艺，通常皮纸在第一次蒸煮后，都要再蒸一次或多次的；其说"垒至丈许而榨之"，垒得这样高是很难施压滤水的[23]。

近几十年来，我国学者对保留至今的泾县宣纸工艺作过许多调查。总体上看，其工艺程序与普通皮纸工艺并无太大区别，主要是精于加工和制作，并随着历史的发展，不断改善原料条件和各项操作工艺。其原料最初是楮皮，后用青檀皮，后来又在青檀皮中掺入了稻草。早期宣纸是不用稻草的，这不但成本较高，而且青檀皮纤维较长，纸质松软，纤维间孔隙较多，吸水性较强，对书画泼墨易产生不良效果；稻草虽纤维较短，强度较低，向来被人们视为低级造纸原料，但将其与青檀皮纸浆掺合后，却可填塞长纤维的孔隙，使整个纸浆纤维结合得更为紧密，且表面平滑均匀[18]。泾县宣纸掺用草浆的工艺约始于清代初年[24]。稻草的初始配入量只有10%，后来增加到了70%[25]。泾县宣纸工艺的基本特点，是用弱碱，如石灰、纯碱等对檀皮和稻草进行多次蒸料、多次曝晒，使非纤维素物质大部分去除，而其化学作用较为和缓，对纤维本身的损害较小。宣纸纸浆最初采用草木灰浸泡并蒸料，后采用湖南常德桐壳碱（主要成分是碳酸钾）；1893年后采用纯碱浸泡。往昔的纸浆漂白完全是曝晒，生产周期长达一年；1893年后辅之以漂粉精（主要成分是次氯酸钙）。漂粉精的缺点是易对纤维造成损害，从而失去了早期宣纸的优点[25]。

从保留至今的传统技术来看[25]，宣纸工艺是较为繁杂的，总体上可区分为制料和制纸两部分，而原料又包括青檀皮和稻草两种。

（一）制皮料

1. 制毛皮：（1）将二岁青檀枝条砍下，并扎成小捆；（2）入水锅蒸料；（3）清水浸泡。（4）手工剥皮。（5）打捆，是为毛皮。每100千克青檀枝条可得8～12



千克毛皮。

2. 制皮胚：(1) 清水浸泡约12小时。(2) 置木桶中用石灰水浸泡，后堆置17天（热天）~40天（冷天）。(3) 蒸皮。将前料直立地置于熿甑内，汽蒸10~12小时。(4) 踩皮。将黑色的外皮踩松。(5) 堆置，发酵4~10天，以去除部分非纤维素物质。(6) 洗皮。(7) 晒干，即皮胚。每100千克毛皮可得42~47千克胚皮。

3. 制青皮：(1) 碱蒸，经12小时。(2) 洗去废液。(3) 晒干。(3) 撕选，撕成宽约4.7毫米的窄条，并将黑皮、斑纹皮、老皮选出。(4) 日光漂白，至皮料两面均呈白色为止。此即"青皮"。每100千克皮胚约可得65千克青皮。

4. 制燎皮：(1) 碱蒸。(2) 日光漂白。每100千克青皮可制得85~90千克燎皮。制燎皮是上等宣纸的特有工序，若为一般宣纸，此工序则可省去。

5. 制皮料：(1) 碱蒸。(2) 洗皮。(3) 榨干。(4) 选皮，即将不洁之物选出。(5) 碓皮，用人力或水力在石板上用碓将皮料击成饼状皮条。(6) 切皮。因碓过的纤维有的依然较长，必需将之切断。(7) 瓮内踩皮一小时。(8) 洗料，以无白色污水流出为度。此即捞纸用皮料。

（二）制草料

1. 制草胚：(1) 选料。泾县宣纸主要用沙田稻草，须割去穗端和叶片。(2) 以践碓将之舂碎。(3) 清水浸泡7~40天。(4) 石灰水浸泡。(5) 堆置发酵。(6) 洗去灰渣。(7) 晒干后，即为草胚。

2. 制青草：(1) 将草胚上的石灰抖掉。(2) 碱蒸。(3) 洗涤。(4) 晒干后，即为青草。

3. 制燎草：碱蒸，后经冲洗、摊晒后，即为"燎草"。

4. 制草料：(1) 用细木鞭子抽打燎草，以打掉部分石灰粒。(2) 用竹筛将灰渣洗去。(3) 用木榨将水分榨干。(4) 将草料中的黄筋、未晒白的草料挑去。(5) 用水碓或践碓入臼中舂料，每臼须12小时；(6) 倒入缸内人工踩料。(7) 装入麻袋中冲洗以净。即为草料。

（三）制纸

1. 制细料：(1) 配料。将制好的皮料和草料依一定比例配合，皮料配比常为30%~80%。(2) 用漂粉精补充漂白一次，使白度更高更均匀。(3) 打槽，即入槽内进一步搅打纸料。(4) 用细麻布袋滤干，即是细料，置缸中备用。

2. 造纸：(1) 将纸料和杨桃藤粘液调匀。(2) 抄纸。普通四尺、六尺宣纸均由2人抬帘抄纸，最大的丈六宣纸则需14人合抄。(3) 榨干。(4) 烘纸块。(5) 浇水。(6) 分纸。(7) 烘纸。(8) 毛纸[25]。

戴家璋认为：保留下来的宣纸之工于制作，主要表现在三方面：(1) 原料精于选择和加工。如檀枝须区分老嫩粗细，皮料须依厚薄长短分别捆扎，且须少破皮。(2) 不管皮料、草料，均须再三灰水浸渍、蒸料、发酵、洗涤、选择。(3) 不管皮料还是草料，均须日光漂白，任其雨淋日晒，不计时日，以白为度[18]。王诗文认为，传统宣纸的主要技术成就是：(1) 使用皮料与草料的混合纤维，成功地抄出了高质量的书画用纸，既开拓了更为宽阔的原料资源，也弥补了单一原料

在使用性能上的缺陷。(2) 经过长期摸索，精选出了青檀皮和沙田稻草这两种较好的原料组合。(3) 继承了我国古代手工纸特有的发酵制浆、石灰与碱液分级汽蒸、日光漂白等工艺，使成纸既便于书画，又耐久而不变形。(4) 在草料准备时，先去除杂细胞较多的稻叶和草节，再用洗料和木鞭抽打的方式去除杂细胞，与现代机制纸的技术原理完全一致。(5) 其使用的自然溪水不含或少含有害金属离子，为成纸的耐久性创造了较为有利的条件[25]。

## 第七节 印刷技术的发展

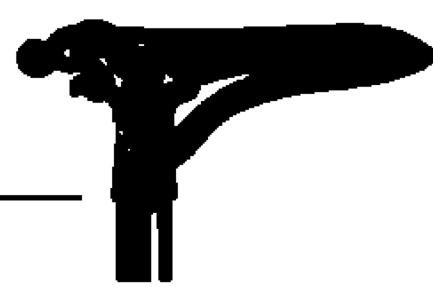
从管理体制上看，清代印刷业也可区分为官刻、坊刻、家刻三种，其中的官刻亦可区分为朝廷和地方官府两个级别。官刻和家刻通常都是非营利性的，坊刻则是营利性的。与前代不同的是：其朝廷内的印刷管理机构不再是国子监，而是武英殿；清代国子监印书较少，其主要是管理教育，并兼管书版贮存。

武英殿位于紫禁城的西华门内，约设立于康熙早期。于敏中《钦定日下旧闻考》卷七一载："增康熙十九年（1680 年）始以武英殿内左右廊房共六十三楹为修书处，掌刊印及装潢书籍之事。"[1] 依此，武英殿修书处应设于康熙十九年或稍前。在清代早、中期，清廷的典章、法令、御撰、钦定的经史子集等重要文件、书籍，几乎都是由武英殿出版的。这种版本世谓之"殿本"。殿本数量其说不一，张秀民认为是 312 种[2]。清代出版过不少大型图书，如《大清会典》、《大清一统志》、《佩文韵府》、《渊鉴类函》、《全唐诗》、《十三经》、《钦定古今图书集成》，以及汉文、满文《大藏经》等。其中大量的是雕版，也有不少木活字和铜活字版。朝廷积极使用活字印刷，这是清代的一个特点。

清代各地方官府都设有书局，可翻印殿本，也可自刻它书，其印本世谓之"局本"。在清代早中期，地方印书远无宋、明活跃，印书量亦较少，这显然是与清廷控制较严和文字狱等因素有关的。所以清代早、中期的官本，实际上主要是武英殿本。同治之后，地方出版业才有了发展，并出版过不少较有价值的图书。如同治六年（1867 年）成立的金陵书局，便先后出版过《王船山遗书》、《文选》、《经典释文》、《百子全书》、《史记》、《天下郡国利病书》、《湖北通志》等。

由于战乱和文字狱的影响，民营出版业在清初受到了很大的摧残。直至乾隆末年，"山西一省皆无刻板大书坊，其坊间所卖经史书籍，内则贩自京师，外则贩自江浙、江西、湖广等处"[3]。乾隆过后才逐渐发展起来，且从规模和地域上看，都超过了历史上任何一个时代。清代早、中期时，民营作坊主要出版古代经、史、子、集类典籍和翻刻殿本；清代中、晚期之后，由于政策稍宽，戏曲、小说等类图书亦开始大量出版。此期民间印刷较为发达的地方是北京、苏州、广州，以及南京、杭州、江西、湖广等地。由于战争的摧残，福建建阳印刷业已经败落。

清代印刷技术的主要特点是：(1) 雕版印刷在相当长一个时期内依然占据主导的地位，木版、石版、铜版都相当发达；及至清代晚期，雕版印刷业始才转衰。(2) 木活字、铜活字都较流行，技术上也发展到了较为成熟的阶段；泥活字又再次兴起；不但局本、坊本、家本，而且殿本都使用过活字。(3) 版画较为盛行[4]。



宋代便已负盛名的徽州墨此时依然保持着较高的发展水平，北京内务府“制墨工艺”除桐油外，还使用了猪油烟子制墨，且使用了熊胆、麝香、冰片等贵重药物作添加剂，清乾隆墨质量极佳，当与此有关[4]。但清代制墨技术创新无多，故今从略。

**一、雕版印刷**

雕版印刷在清代依然占有十分重要的地位，许多重要文档、大型著作，都是用雕版印刷的，其中包括御纂、御选、御注、御批、御定、钦定等名目。内府所刻有：《御定佩文韵府》106 卷（康熙五十年）、《工程做法则例》74 卷（雍正十二年）、《大清一统志》356 卷（乾隆九年）；武英殿刻有：《子史精华》160 卷（雍正五年）、《二十四史》3250 卷（乾隆四年）等[5]。《二十四史》之名即始于此①。乾隆时期刻书尤多，弘历当政六十年，据《殿板目录》所载，所刻经史子集有一百余种。在这些雕版中，凡乾隆十二年前刊印者，皆写刻工致、纸墨精良，堪称殿本极盛时代。因武英殿刻书较多，道光十四年时，北京国子监计贮雕版 64 种、149782 面；同治八年（1869 年），武英殿偶生火灾，200 年来所藏书版一炬荡然，唯存《二十四史》版片[2]。

清国子监刻书较少，今仅见北京师范大学图书馆存有两种，即康熙五十二年（1713 年）刊《韩子粹言》两卷，唐韩愈著，清李光地编；雍正十一年（1733 年）刊《朱子礼纂》五卷，清李光地编[5]。

由于清廷贵族文化专制主义的影响，清代的木刻图版印刷显得十分萧条。但此技术并未完全消失，不管殿本还是坊印本，也不管雕版还是活字版，都有木刻插图的，而且有的插图较多，亦较精美。如殿本《万寿盛典》一书，计 120 卷，其中的第 41 卷、第 42 卷全为插图，计 148 页，其内容是记录康熙圣寿盛典的场面，构图缜密、人物精丽。

活字印刷虽发明于宋，但直到清代中期，我国印刷业依然是以雕版为主的。此并非某人或某阶层不接受新事物，而是由我国国情、技术条件和汉字本身结构决定了的。雕版印书量较大，一次印刷过后，将印版保存起来，下次还可再用；中国人口众多，印本很快便会脱销，再版机会是较多的。但若要保存活字版，就有些不符经济原则。常用汉字大约 2～3 万个，若以活字印书，则需 10～20 万个或更多，是个巨大工程，倒不如雕木来得方便。现代金属活字生产技术引入后，此状况才得以根本改变[6]。

**二、套色印刷**

清代套色印刷虽不可与明代相比，但它依然保持着，不管文字还是版图，都有两色和多色套印的，饾版印刷得到了进一步推广。

（一）书籍多色套印。其中大家较为熟悉的例子有：乾隆时期出版的《雍正硃批谕旨》，计 112 册，朱墨套印。据《书林清话》卷八载，清代还有六色套印，如：“道光甲午（1834 年）涿州卢坤刻《杜工部集》二十五卷，其间用紫笔者明王世

---

① 我国古代纪传体史书，至明总计已有二十一史。清乾隆时《明史》定稿，又诏增《旧唐书》、《旧五代史》，总计成为二十四史。

贞，用蓝笔者明王慎中，用朱笔者（清）王士祯，用绿笔者（清）邵长蘅，用黄笔者宋荦也，是并墨印而六色矣。斑斓彩色，娱目怡情。”[7] 创多色套印点评的空前纪录。

（二）饾版印刷技术。如前所云，饾版印刷的主要技术特点是用套印方式复制彩色图画，获得与原画形神兼备的效果。清代饾版印刷继承了前代的传统，并有一定发展，大家较为熟悉的事例主要有：

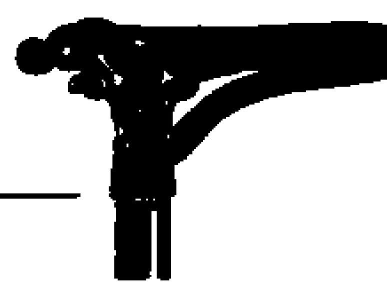
《耕织图》，康熙五十一年（1712 年）殿刻，其包括“耕”、“织”两大部分，各有图 23 幅，由内廷画家焦秉贵绘画，全部采用饾版印刷，是清代前期殿本饾版的代表作之一。

《芥子园画传》，计四集，前三集由收藏家沈心友发起并主持刻印，由画家王槩（1644～1700 年）、王蓍、王臬兄弟三人负责编绘，由戏曲家李渔（1611～1679 年）资助，并在李渔的金陵别居芥子园内刻印完成，皆采用饾版印刷。第一集出版于康熙十八年（1679 年），其第一卷为文字，内容为“画学浅说”和“设色各法”；第二卷至第五卷为树谱、山石谱、人物屋宇谱和模仿各家画谱。第二集出版于康熙四十年（1701 年），包括兰、竹、梅、菊四谱，每谱前皆有画法浅说。第三集出版于康熙四十一年（1702 年），包括花卉草虫谱和花卉翎毛谱。此书是在沈心友所藏明末画家李长蘅 43 幅课徒山水画稿的基础上，经王槩兄弟整理，并增绘至 133 幅而成的。到了嘉庆二十三年（1818 年），苏州书商将丹阳画家丁臬（1761～1826 年）的《传真心领》和上官周的《晚笑堂画传》两部人物画谱等编在一起，以《芥子园画传》第四集之名出版，分为仙佛、贤俊、美人三谱，仍以饾版印刷。虽这第四集与前三集在编、绘、刻、印等方面全无关系，但其保留了前三集的原有风格，亦弥补了前三集缺少人物画谱之不足，故为后人所重。此套书前后四集，绘、刻、印三者都反映了清代饾版印刷的发展水平，刻和印都体现了原画的风貌[8][9]。

康熙年间还以饾版复制了明胡正言《十竹斋画谱》，但刻版、设色、用墨、用纸，皆远不如胡氏原印本精良[8]。杨绳信《中国版刻综录》所载清代套版本计 43 种，今藏于国家图书馆者计 24 种[10]。

（三）木版年画的兴盛

木版年画应是随着雕版印刷的发展而兴起的，今见最早的年画大约是 1909 年甘肃发现的《四美图》，为南宋平阳印制。明弘治至万历年间，年画印刷已较兴盛；清代初年，年画印刷便在许多地方发展起来，并成为一个独特的印刷门类，湖南、河北、浙江、江苏、福建、广东、河南等地都有木版年画雕印，其中最负盛名的是天津的杨柳青、苏州的桃花坞、山东潍坊的杨家埠三地。这种木版年画显然受到过明、清两代饾版印刷的影响，虽技术上并无太大成就，但其开创了一个新的印刷门类，使木版彩色印刷得到了更为广泛的普及，且在内容和用色上都形成了自己鲜明的特点。桃花坞年画最兴盛的年代是康熙至乾隆时期，其用纸幅面可达 110 厘米 ×60 厘米，用色鲜艳，涂色巧妙，套印准确，成为精致的彩色印刷品。杨柳青一带至迟明代中期便有了年画作坊，但其绘画风格与桃花坞略有不同。杨家埠年画约始于清代初年，其早期印刷方法，是用雕版先印画面轮廓，再用手工涂上色彩，后来请杨柳青技师传授了饾版印刷，才进行了彩色套印。



### 三、木活字印刷的空前发展

木活字印刷在清代得到了空前的发展，因有清廷支持，官刻本、坊刻本、家刻本都有使用，几乎遍及各省。王士祯（1634～1711年）《居易录》卷三四载："庆历中有毕昇为活字板，用胶泥烧成。今用木刻字，铜板合之。"[11]可知康熙时期木活字已较盛行，且成了活字印刷的主流。此"铜板"即王祯说的印盔、印框。

清代木活字的大量使用是乾隆刊行"武英殿聚珍版丛书"时开始的。"乾隆三十八年春，诏出内府所藏秘籍及徵天下遗书，与永乐大典中散见而世罕传本者，汇录为'四库全书'，择其尤者刊布海内。"[12]这最后一句，便是武英殿聚珍版之由来。当时鉴于出版《钦定古今图书集成》等的铜活字已改铸铜钱，而雕版又费工费时、耗资巨大，"武英殿聚珍版丛书"负责人金简便奏准清高宗使用木活字刊印；因"活字版"其名不雅，高宗特赐名"聚珍版"[12]。乾隆三十八年十月，金简上奏请准刻出大小木活字15万余；三十九年四月，又训示添备10万余字，计刻25万余活字。乾隆四十一年，《钦定武英殿聚珍版程式》一书出版，对两年多来木活字印刷实践进行了系统的总结，并以此为基础，提出了一整套工艺规范。其规范的"程式"分为15部分，即：造木子、刻字、字柜、槽版（植字盘、印盔）、夹条、顶木（填空材料）、中心木（中缝木）、类盘（检字盘）、套格、摆书（植字）、垫板、校对、刷印、归类（拆版并将活字入柜）、逐日轮转（交叉排字）[12]。甚为详明，相当完整，且与现代技术原理相符，在现代印刷厂中几乎都可看到类似的工艺规范[13]，这在中国印刷史、世界印刷史上都占有重要的地位。这种木活字的风采今日还可在不少影印本中看到，如1995年齐鲁书社出版的《四库全书存目丛书》子部第117册所收《格物麤谈》，原便是道光十一年六安晁氏木活字本。

金简造木子之法是："利用枣木解板，厚四分许，竖裁作方条，宽一寸许，先架叠晾（晾）干两面，用鑤（刨）取平，以净厚二分八厘为准，然后横截成木子，每个约宽四分。"将数十个木子（字坯）放在硬木制成的排槽内，以活闩挤紧，刨之以平槽口为度，使木子尺寸匀称统一。大木子尺寸为：厚0.28寸、宽0.3寸、长0.7寸。小木子厚长与大木子相同，唯宽只有0.2寸。大字用于正文，小字用于小注。凡刨必须轻捷。刨完后，再用标准的铜制大小方漏子逐个检验大小木子，视其尺寸是否符合要求。之后刻字。先将需刻的字写在薄纸上，再翻过来贴在木子上，形成反字迹，再置刻字床上刻字。之后再将刻好的字，依《康熙字典》分为子丑寅卯……十二部，排列入12个字柜中，每柜有200个抽屉[12]。

与王祯木活字工艺相比较，金简木活字工艺又有了不少改进，如：（1）王祯木活字是先雕成整块印板，之后再锯成单个活字的，故活字加工精度必然受到一定影响；金简活字是先加工成木子的，加工方法和尺寸都有严格规定，且有一个检验木子的程序，故活字加工精度较高，使印刷质量有了较好的保证。（2）王祯之法以旋转字盘来贮字和捡字，一人管两个字盘，劳动强度较大；其字依音韵排列，对操作人员要求较高。金简之法是以木柜抽屉贮字的，各字依部首、偏旁及笔画顺序排列，故粗通文墨之人便可操作。排版时，先有一人捡字置于托盘上，另一人依书稿唱字，捡字人再将活字交植字工排版，分工更细，减轻了劳动强度，提高了工作效率。（3）王祯用一次排版法，将活字、边框、行格都放在印版上，一次印成；

金简以两次套印法，先用雕版印出版框、版心、行格，之后再将此种印有版框等的纸覆印到活字印版上，再印出文字，虽多了一套工序，却更清晰规整，犹如雕版[14]。(4) 各项操作考虑得更为周密，亦较科学。如其“刷印”条载：“如遇溽暑天气，刷书时木子渗墨微涨，即略为停手，将版盘风晾片刻，再为刷印。”这就保证了印刷质量[13]。可见，在活字制作、捡字、排版、印刷等方面，金简都有了不少改正。木活字印刷在清代获得了较大发展，与技术上的改进是密切相关的。

据陶湘《武英殿聚珍版书目》(1938 年)统计：自乾隆三十八年（1773 年）至乾隆五十九年（1794 年），武英殿依“聚珍版程式”之法，计用木活字刊印了经、史、子、集各类书籍 134 种，2390 卷，1423 册，约 3358 万字[15]。在活字版未成之前，武英殿曾刊印过 4 种雕版本；嘉庆年间，武英殿又排印过 8 种木活字本，世谓聚珍版单行本[13][15]。这是殿本使用木活字的部分情况。

在清廷的支持和殿本的影响下，木活字印刷在坊本、官局本中也兴盛起来，而且坊本也采用了“聚珍版”的工艺规范，其中年代最早的是程伟元的萃文书屋，其在乾隆五十六年(1791 年)时便用“聚珍版”规范排印了《红楼梦》，这是《红楼梦》最早的印本。杨绳信《中国版刻综录》一书载有清代木活字印本计 211 种，多数都是坊印本，如道光十一年六安晁氏刊印的《学海类编》807 卷（清曹溶编，陶樾订，今藏国家图书馆）、嘉庆二十四年（1819 年）海虞张氏爱日精庐印《续资治通鉴长编》520 卷（宋李焘撰）。清代木活字版虽然较多，但在整个出版物中所占比例依然是较小的[14]。

**四、铜活字印刷的空前发展**

铜活字印刷在清代也得到了空前的发展，虽其印本种类不是太多，但印书量却是不少的，而且官本、坊本都有使用。

今见传世本中，年代较早的清铜活字本是康熙二十五年（1686 年）《文苑英华律赋选》四卷，封面左下题“吹藜阁同板”五字。此书为虞山钱陆灿选，其在“自序”中说：“于是稍简汰而授之活板，以行于世。”[16]这也是清代坊本中年代较早的铜活字本，“吹藜阁”当为常熟书坊[17]，国家图书馆善本部曾有珍藏[10]。但清代最为著名的铜活字印刷工程是雍正四年(1726 年)至六年内府排印的《钦定古今图书集成》一万卷，目录 40 卷[10]；书中文字用铜活字排版，插图用木板刻印。因“武英殿聚珍版丛书”所刻木活字为 25 万余，其卷数不及《钦定古今图书集成》的 1/4，故今有人估计，《钦定古今图书集成》的铜活字数应达 100 ~ 200 万个[14]。至于此书当时的印数，则一直存在不同说法，其中较为流行的是 66 部，但今国内外所存约 12 部。这是当时世界上规模最大的百科全书，也是印刷史上的空前壮举。杨绳信《中国版刻综录》所载清代铜活字版书计 8 种，其中国家图书馆藏有 4 种，除《文苑英华律赋选》、《钦定古今图书集成》外，还有乾隆十六年梁诗正《西清古鉴》等，后二者皆内府所印。

此内府铜活字自然也是铸造的，而且清人早有说明。吴长元（1743 ~ 1800 年）《宸垣识略》(1788 年) 卷三云：“武英殿活字板处在西华门外北长街路东。长元按：活字板向系铜铸。为印‘图书集成’而设康熙中。”[18]此“向系”二字对我们了解明、清两代铜活字工艺都是很有帮助的。



《钦定古今图书集成》出版后，其铜活字便未再用。后因丢失过多等原因，乾隆九年，剩余的铜活字和铜盘便被投入洪炉铸钱。但铜活字印刷技术并未因此中断，许多地方仍在使用。杨绳信《中国版刻综录》一书便载有道光和光绪年间的铜活字本，如福州林春祺福田书海于道光二十八年（1848 年）印《音学五书》五种（清顾炎武撰），北京都宝堂于光绪七年（1881 年）印《书经》六卷（宋蔡沈集传）等。

**五、泥活字印刷的空前发展**

泥活字印刷虽宋代便已发明，宋、西夏、元都在使用，但使用量一直较少，明代甚至鲜见提及，清代就发生了变化，并在道光时获得了空前的发展。今在天津、湖南、安徽等地都发现过与泥活字印刷有关的实物。具体实例主要有：吕抚活字泥版、李瑶活字泥版、翟金生活字泥版印刷。此三例中，吕抚活字泥版印刷留下过不少文字资料，翟金生活字泥版印刷则留下过一些实物资料，李瑶活字泥版印刷则两种资料都不太多。此三种活字泥版印刷约包括两种不同的工艺类型：甲、活字活版印刷。其操作程序是：(1) 寻找现成的木质雕版（阳文反书）。(2) 利用木质雕版复制出泥质活字母范（阴文正书）。(3) 利用泥质活字母范制作出泥质活字（阳文反书），以供印刷之用。翟金生的印刷工艺即属此类。乙、活字整版印刷。其操作程序是：(1) 亦是寻找现成的木质雕版（阳文反书）。(2) 利用前版复制出泥质活字母范（阴文正书）。(3) 利用泥质活字母范制作整张泥质印版（阳文反书）。吕抚印刷工艺即属此类。可见这两种印刷工艺的共同点是：其最早得到的泥质活字母范（阴文正书）都是从现成木质雕版上复印下来的，而不是直接在泥坯上一枚一枚地雕出的。不同处是：吕抚印刷工艺中，唯“阴文正书字范”是单个的，实际印刷的“阳文反书”字却是整块泥版；在翟氏工艺中，“阴文正书字范”和“阳文反书字”都是单个的。下面分别介绍。

（一）吕抚活字泥版

吕抚（1671～？年），新昌秀才，他自制泥质活字 7000 个，并于乾隆元年（1736 年）刊印了自己的著作《精订纲鉴二十一史通俗衍义》二十六卷，四十四回，首一卷。天津图书馆珍藏有此书[19]。

对其印刷工艺，《精订纲鉴二十一史通俗衍义》卷二五（第四十二回）曾有详细介绍：“抚因思一法，以秫米粉和水捻成团，如梅子大，入滚汤内煮令极熟。去汤，用小木捶练成薄糊，待牵丝不断，以大梳梳弹过新熟棉花，和匀；乃和漂过燥泥粉，放厚板上，用斧杵千百下，宁硬无软。用两开方铜管，借他人刻就印板，或照《字汇》将要字另刊，挤印造成字母，如图书状，阴干待燥。照《字汇》分行分格排定，面写本字，以便寻印；背写行格马子，以便退还。然后以熟油桐练漂过细泥，用斧杵千万下，宁燥毋湿。待极粘腻，屈丝不断。将油泥打成薄薄方片，用飞丹刷格板，以泥片印成细格，乃用木板刷薄油一层，以泥片切齐铺板上。先做外方线，撮字母，依书样用尺用线照格逐字印之，其字母有高者，用砖略磨平之。印以平直为主。每印一行，用刻字小刀割清一行。若有歪邪，用字母套移端正，再用平头小竹针于空处筑实，用笔涂桐油做圈点。待坚燥讫，用沙纸沙平刷印。价甚廉而工甚省……姑试为之，坚如梨枣”[19]。

这里系统地谈到了制字和印刷的基本过程，虽然稍长，却是我国古代泥活字

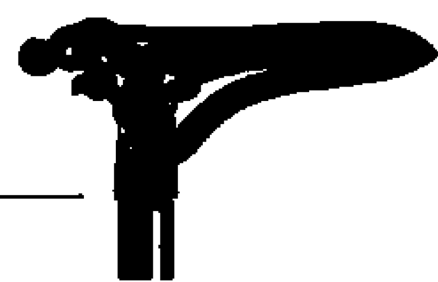
印刷工艺中难得的文献。基本程序是：(1) 配制“字母”(字范)用“泥”。此泥由澄清泥粉、秫米粉、新熟棉花配合而成。(2) 练“泥”。秫米粉须和水，并捻成团，再煮熟、捶至牵丝不断；棉花须是弹过的新熟棉花；原泥须是澄清过的燥泥粉。三物和好后须用斧杵千百下。(3) 制作“字母”，即用挤印法复制“阴文正书字范”。以现有雕版为字模，挤印而成，即文中所云“借他人刻就印板”、“挤印造成字母”。现成雕版中没有的字，便照《字汇》另行刊刻出阳文反字，再用挤印法复制出字母来。其中的“两开方铜管”便是挤印字母的主要工具。“如图书状”，当指字形言。(4) 将字母(阴文正书字范)依《字汇》排好，面写本字，背写行格编号。(5) 练制泥质印版用泥。要点是以熟桐油捣练澄清过的细泥，用斧杵千万下，宁燥毋湿，至屈丝不断。值得注意的是，此泥的配料和制作工艺与“阴文正书字范”都有差别。(6) 以一个一个的字母(阴文正书字范)排版、制版。先将油泥打成薄片，用刷有红色颜料(飞丹)的格板在泥片上印出格子，后将此印有格子的泥版铺于刷有薄油的木板上，并在此泥版上用字母印字。印完一行再一行，最后成为一整块泥质印版。文中即“将油泥打成薄方片”至“做圈点”17 句。(7) 阴干印版，印刷。即“待坚燥讫”以下两句。可见，此吕抚活字泥版印刷工艺，是用木质雕版（阳文反书）复制出泥质活字母范（阴文正书），用活字母范复制出整块泥版（阳文反书），作整块泥版印刷的。其只有一个个的“泥质阴文正书字范”，而无一个个用于印刷的“泥质阳文反书活字”。此工艺与通常的木活字、铜活字，以及毕昇泥活字和下面将要说到的翟金生泥活字工艺都有一些不同。因名之曰“泥质活字整版印刷”。此法的优点是：(1) 因“借他人刻就印板”造字，就省去了雕造活字的繁杂工序。(2) 其一个个的阴文正书字母只用于复制阳文反书的印版，就减少了字母受磨损的次数。一套印版只能印刷一种书，而一套阴文母范却可复制多套印版，从而延长了字母范的使用寿命，也就提高了生产率。类似的复制工艺显然是从青铜铸造的制范工艺中援引过来的。

另外，吕抚还对有关操作步骤和工具作了进一步的说明。其中较值得注意的是“两开方铜管”：其“总形，竹针形。此竹针两头平，一头大一头小；须于铜管内面可行，不大不小方妙……铜管分形：外边中间有耳，以便开合。内边中间外面为雌雄笋(榫)，犬牙相挽，拿紧方不参差。将铜管擗开，入秫米粉糊，所取泥条在内，叩在印板字上，将平头方竹针撴下，即成阴文字一个，待阴干后，晒极燥听用”。此虽说得不十分明白，但对我们了解字母的复印技术仍有一定帮助。

关于此工艺的生产效率，吕抚说：“大抵一人撮，二人印，每日可得四页。率昆弟友生为之，不用梓人，虽千篇，数月立就。士人得书之易，无以加于此矣”。

（二）李瑶活字泥版

李瑶（1790～1855 年），苏州人，寓居杭州。道光十年（1830 年），其用自制泥活字刊印了《南疆绎史勘本》58 卷，80 部。此书实为南明史，清初温睿临著；李瑶校订、补充，并在杭州刊印。书的扉页背后印有“七宝转轮藏定本”、“仿宋胶泥板印法”篆文 2 行。孙殿起（1894～1958 年）《贩书偶记》（1936 年）也曾著录过此书：“《南疆绎史勘本》五十八卷，乌程温睿临原本，吴郡李瑶勘定，道光十年七宝转轮藏本，仿宋胶泥版印活字本。”1980 年，湖南省图书馆亦发现一部[20]。



道光十二年（1832年），李瑶又在杭州校订，并用泥活字印制了《校补金石例四种》[21]。此书包括元潘昂霄《金石例》及清人对它的补充。李瑶在“自序”中说：“余乃慨然思其广传，即以自治胶泥板，统作平字捭之，且以近见吴江郭氏祥伯之《金石例补》补之。”书前题有“七宝转轮藏定本，仿宋胶泥版印法”（篆字）。今国家图书馆藏有此书[10]。

（三）翟金生活字泥版

翟金生（1775～1860？年），字西园，秀才，安徽泾县人，好诗画，对泥活字潜心研究了三十年，制作了十万多枚，并与其子、孙、内侄等，先后用它印刷了《泥版试印初编》[22]、《牡丹唱和诗》、《仙屏书屋初集》、《修业堂初集肄雅堂诗钞》、《水东翟氏宗谱》等书，其中有翟金生自己的著作，也有友人著作。《泥版试印初编》是翟金生的诗文和联语集，道光二十四年（1844年）印成，翟金生时已七十高龄；虽少数字迹方向有些偏离，但纸墨清晰，笔画工整。十分可惜的是，该书对泥活字工艺并无详细描述，只有少数几处提到过与泥活字有关的事。如书中有“泾上翟金生西园氏著，并自造泥字”等字样。作者在“自序”中说：“调泥埏埴，磨刮成章，制字甄陶，坚贞拟石。”翟金生在所作《泥版造成试印拙著喜赋十韵》诗中说：“卅载营泥版，零星十万余。坚贞同骨角，贵重同璠玙。直以铜为范，无将笔作锄。”璠玙，鲁之美玉。《仙屏书屋初集》为友人黄爵滋的诗集，道光二十七年（1847年）排印，封面印有“泾翟西园泥字排印”小字两行。《水东翟氏宗谱》是明嘉靖年间（1522～1567年）翟震川修辑的翟氏家谱，封面左题“大清咸丰七年仲冬月泥聚珍重印”一行。

《泥版试印初编》一书对有关工艺并无专门记述，值得庆幸的是其有数千枚泥活字流传了下来，并为中国科学技术大学、安徽省博物馆等单位和某些收藏爱好者所得。这数千枚泥活字约可分为大小五种类型，其中1、2、4号为方字，3号为长方字，5号为圆圈号。1号字的长、宽、高分别为0.9厘米、0.85厘米、1.2厘米，4号字的长、宽、高分别为0.4厘米、0.35厘米、1.2厘米。各字型皆为宋体，绝大多数都是阳文反书，圆圈号可作句号和逗号用，另有少量白丁和5枚阴文正书字范。此5枚字范适与另5枚阳文反书活字相吻合。显然，此“阴文正书字范”是用来复制阳文反书字的，它多数是在木质雕板（阳文反书）上复印而成的[24]。

一般认为，翟金生胶泥活字印刷工艺的基本步骤是：（1）选择并加工好胶泥。（2）在现成的雕版上复制出“阴文正书字范”（图9－7－1）。现成雕版中没有的字便可重新雕刻。（3）将“阴文正书泥质字范”作风干、焙烧处理。温度可达870℃，多数为500℃左右。（4）在焙烧过的“阴文正书泥质字范”上，用胶泥复制出“阳文反书的泥活字”来，风干后，并在与前相同的温度下焙烧，制成用于印刷的阳文反书泥活字。（5）用阳文反书的泥活字排版、印刷。为此，有关学者还进行了模拟试验[24][25]。与这种泥活字制作法相类同的工艺在古代铜铁器铸造中常可看到，且往往较此更为复杂。自然，翟氏泥活字也具有吕抚泥活字的优点。

其制作出了大批阳文反书泥活字，与吕抚法各有千秋①。

翟氏练泥法不详。从科学分析来看，其胶泥是一种含 $SiO_2$ 稍低、$Al_2O_3$ 稍高的粘土，具体成分为：$SiO_2$ 54.5%、$Al_2O_3$ 26.68%、$Fe_2O_3$ 9.58%、$TiO_2$ 1.06%、MnO 0.08%、$Na_2O$ 1.08%、MgO 1.93%、$K_2O$ 2.43%、CaO 0.26%。烧成温度为870℃左右[24]。与商、周灰陶相比较，此组分含铝量稍高，含硅量较低，故其烧成温度应当稍高。显然，在870℃以下，此胶泥并未陶化，基本上仍属泥质。值得注意的是其钙镁量较低，因 $CaCO_3$ 和 $MgCO_3$ 加热过程中会发生分解而引起体积疏松，钙镁量低便减少了这一变化所造成的影响。显然，这种成分是经过了选择较好的。



**图9-7-1 翟金生泥活字范**

采自中国历史博物馆等编《中国古代科技文物展》，朝华出版社，1997年

从现代技术原理看，笔者认为泥活字的成分应具备下列几个基本条件：（1）含铝量稍高，如大于25%；含硅量稍低，如小于55%。以保证活字有足够的强度。（2）$CaCO_3$ 和 $MgCO_3$ 总量不宜太高，如总量小于0.5%左右；以减少碳酸盐分解而引起的结构疏松。（3）熔剂总量不宜太高，以提高其烧结温度。（4）泥活字之煅烧，实际上是低于成陶温度的焙烧，主要目的是释放加工过程中产生的结构应力、脱水、部分碳水化合物分解等。此阴文正书字范、阳文反书泥活字，在技术要求和加工工艺上，与金属铸造用泥范都有不少相似之处。

与木活字相比较，泥活字的优点正如《泥版试印初编·包世臣序》所云：木活字“排成版片印及二百部则字划胀大模糊，终不若泥版之千万印而不失真也”。

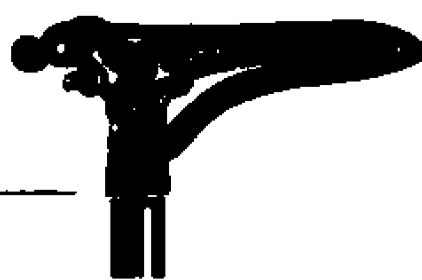
**六、关于“磁活字”**

在清代文献中，至少有两例资料，即泰山徐志定“泰山磁版”、益都翟进士“青磁《易经》”都涉及到了“磁(瓷)活字”的问题，但类似的工艺在传统技术中尚未看到，也未曾得到过科学分析的证实。我们认为，它很可能依然还是一种泥活字，或半陶态的活字。因这两例资料广为学术界关注，今简述如下。

（一）徐志定“泰山磁版”

国家图书馆藏康熙五十八年（1719年）泰山徐志定（1690～1753年）印《周易说略》四卷，清张尔歧撰[5]。版框上有“泰山磁板”4字，印者在“跋”中云：“戊戌（1718年）冬，偶创磁刊，坚致胜木，因亟为次第校正。逾己亥（1719年）春，而《易》先成”。其下落款为：“康熙己亥四月，泰山后学徐志定书于七十二

① 当然，翟金生泥活字制作工艺还存在另外一种可能，即部分泥活字可能是在雕版上，或木活字上复制出来的，而另一部分则可能是直接在泥丁上刻出的，且数量较大。不然，目前发现了一千多枚翟氏泥活字，为何只有5枚为“阴文正书字范”，而绝大部分皆为“阳文反书活字”？



峰之真合斋。”此事在当时便引起了学术界的注意。金埴（1730～1795年）《巾厢记》（约1760年）载：“康熙五十六七年间（1717、1718年）泰安州有士人，忘其姓名，能锻(煅)泥成字，为活字板。”显然，这两条文献说的都是同一件事情，虽金氏忘其姓名，但从时间、地点上考察，其所指“士人”为徐志定是无疑了的。

学术界对“泰山磁版”的真实含义历来便有不同意见，陶宝成[26]、魏隐儒[21]认为它是整块的瓷雕版，因保留下来的印本中，发现个别文字断裂和版面断裂。张秀民则认为其依然是泥活字，“是泥字上过釉的”。理由是：瓷不易着墨，大张的瓷版难制[23]。同时，金埴也说它是煅泥而成的活字板。潘吉星则认为它是白陶活字，因当地出产高铝质瓷土，经煅烧后，活字便成了坚硬的白陶[27]。我们倾向于张秀民之说，认为它既非瓷，亦非陶，而是含铝量稍高的泥质或半陶质。其与陶、瓷的区别是：煅烧温度稍低，未达成陶、成瓷的温度范围，且未必上釉。高铝质瓷土经焙烧后，质地洁白坚硬，似瓷而非瓷。因从现代技术原理看，要制成陶瓷印刷活字是不易的，因在烧造过程中，要发生一系列的物理化学变化，从而会引起一连串的体积变化，若含碳酸盐稍高时，还会有物质的分解，这都会影响到活字笔画的准确性和清晰度，施釉后会在更大程度上影响到笔画的清晰度。所以，窃以为“泰山磁版”应即是白泥活字版。其与铸造行业中的陶范相类似，名为陶范，实为泥范或半陶范。当然，这都是一种推测，需用试验来证明。

除《周易说略》外，国家图书馆还藏有雍正八年（1730年）徐志定印《蒿庵闲话》两卷，清张稷若撰。学术界亦定之为“磁活字”版[5]，看来同样应是白泥活字版。

（二）益都翟进士某“青磁《易经》”

清初王士祯《池北偶谈》（1691年）卷二三“瓷《易经》”载：“益都翟进士某，为饶州府推官，甚暴横。一日集窑户造青磁《易经》一部，楷法精妙，如西安石刻‘十三经’，式凡数易然后烧成。”[28]

对此“青瓷《易经》”，学术界也有不同说法，张秀民认为是青瓷器，工艺“可能是把文字写在磁板上，加釉烧制而成”[23]。与“泰山磁版”同样，潘吉星认为它“仍然是以制青瓷的瓷土素烧成的陶活字排版印成”的书，而“不是挂青釉的瓷雕版或瓷活字印本”[27]。我们的看法是：（1）此“青瓷《易经》”原不是书，而是刻有部分《易经》的器物，可能为板状或其他形状。原文并未指明它是书，而只说其“如西安石刻‘十三经’”。（2）其文字若为写上去的，便不宜与西安石相比，故应是刻上去。（3）其胎的成分可能与瓷器相同，表面可能施有一层薄釉。但烧成温度难以分辨，似不应烧到瓷化，因瓷化后便很容易造成棱角模糊。

**七、锡活字和铅活字**

（一）锡活字

锡活字印刷早在元代便已发明，但因难于使墨，率多印坏而未能推广；明代的华燧大约也曾使用，但数量较少。清代之后，在木活字、铜活字大量使用，泥活字复兴的情况下，锡活字也再次被人使用起来，但其数量依然是较少的。

据美国卫三畏（S. Wells Williams）的记载，广东佛山一位唐姓印刷工人，为了印刷用于赌博的彩票，于道光三十年（1850年）开始铸制锡活字，前后铸了三副，一副扁体字，一副长体大字，一副长体小字（作正文小注用），字数超过20

多万个。其范铸法的工艺程序是：（1）先刻出活字的木模，为阳文反书。（2）用木模翻制澄清泥的铸范，为阴文正书。（3）用泥范浇出锡活字，为阳文反书。（4）修整锡活字。为节省金属，其锡活字高只有4分多。咸丰二年（1852年）刊印了元马端临《文献通考》348卷，凡19348面，字迹清晰，笔画刚劲，排列规整，一如雕版。其铸字、排版、着墨技术，都达到了相当高的水平。这是世界印刷史上的第一个锡活字本[29]。此活字成分不明，估计为锡基合金。

（二）铅活字

我国古代关于铅活字的明确记载始见于明，及清便有了一定的进步。清魏崧《壹是纪始》（1834年）卷九载："活板始于宋……明则用木刻，今又用铜、铅为活字。"由这段记载看，在鸦片战争前，可能我国一直有人在使用铅活字，而且是国人自己铸造的。英国人在香港铸造铅活字是1851年之事[30]。此外，光绪十三年（1887年），淮安王锡祺依然使用传统之法自铸过铅活字，并用它补正了友人潘德舆的《金壶浪墨》，前此，此书曾用铅活字刊印过[29]。这些铅活字的成分和工艺，皆详情不明，但有一点可肯定的是：不应是纯铅，而应是一种铅基合金。因西洋铅活字在生产率等方面技高一筹，遂使传统的活字工艺为西洋之法取代。

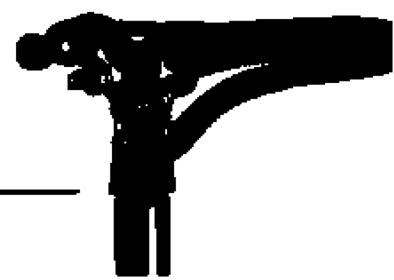
## 第八节　火药火器技术的发展

后金擅长弓马骑射。有鉴于1626～1627年两次进攻宁远等地时，皆败于明朝火器的深刻教训，皇太极等人才感到了火器的威力，并于1631年开始了对它的仿制。之后，火器在对明战争、平三藩、平定准噶尔叛乱、反对沙俄入侵的雅克萨之战中，都起到了十分重要的作用。自康熙后期，因战事平息，火器研制渐少；雍正朝则重弓马箭矢而轻火器；乾隆时期，更是墨守成规；雍、乾二代，所制新炮皆少。嘉、道之后，境况日下。有清一代，火药火器技术除承袭明朝旧制和部分仿自西洋者外，自身并无多大建树。值得注意的是，康熙时期，戴梓发明了连珠火铳；19世纪早期，火药配比技术有了一定提高。鸦片战争前后，在"师夷长技以制夷"的思想指导下，陈阶平配制了较好的火药，丁守存试制成功自来火药，龚振麟、丁拱辰等对火炮技术的改进也都作出了一些积极的贡献。

### 一、清代早、中期的火药技术

清代早、中期硝、硫、炭加工依然是传统的手工操作，较明代并无多大进步。（光绪）《钦定大清会典事例》卷八九五"工部·军火·火药二"载，嘉庆二十三年（1818年）工部定制，谈到了硝、磺、炭的加工工艺："配造军需火药，先期熬硝，每锅一百二十斤，去其矾碱，入小铁锅内，候冷扣成硝它（原注：演放火药不扣硝它）。又将净磺块碾干，用细绢罗筛成细磺面。又将柳木炭入窑烧红，以无烟为度，窑口覆大铁锅，封三日取出，入大铁槽碾轧，用极细绢罗筛成极细炭面。"[1]"它"，砣。

接着，同书同卷还谈到了军用火药的合成工艺："先以炭面、磺面搅匀，入会药库缸内，倾入硝水，以木楸搅匀如稀泥，晾冷定干。用小叵罗盛三十五斤，放石碾上碾轧，不时泼水，俟碾轧三次（演放火药碾轧一次）。每夫一名发给二十五





斤（演放火药发给三十五六斤），分五六次做。入大叵罗内，用木棒打过，手搓成珠。粗筛筛下细珠，又用马尾罗筛去其面（演放火药不用马尾罗），然后方成火药，用布袋装储。奏派大臣点检，存备库仓"[1]。

接着，同书同卷还谈到了当时军需火药配比："凡配药百斤，计用熬过净硝八十斤（仍熬化成水），炭面十二斤八两，磺面十斤，共一百二斤八两（二斤八两预备抛洒）"[1]。换算成百分比成分则为：硝 78.05%、硫 9.76%、炭 12.20%。这是清嘉庆年间的标准火药，较明末清初有了改正。这自然也是通过反复试验、反复实践总结出来的。《嘉庆大清会典事例》卷六八六载："（康熙）三十一年题准，八旗试演枪炮火药，移濯灵厂贮取用。"此"试演"，便是一种试验、演习。我国古代冶金、陶瓷、造船、建筑、火药火器等技术，一直都有试验的习惯，前面亦曾多次提及。

19 世纪初叶，英国人便采用了先进的加工设备对硝、硫进行了化学提纯，并用蒸汽动力机械对原料进行了粉碎和拌匀。按歇夫列里于 1825 年提出的化学反应式，配制成了枪用发射火药和炮用发射火药，此两组火药硝:硫:炭的比例分别为 75%:10%:15% 和 78%:8%:14%。这两组配比便成了各国采用的标准。

直到清代后期，我国的火药加工依然是采用传统的工艺。据（光绪）《钦定大清会典事例》卷八九七"工部·军火·火药四"载，同治六年（1867 年），陕西省聘请上海良匠配制火药时，其原料加工为："每百斤用上好石硐硝，以水胶、糟水、罗卜汁、鸡蛋清各提煮一次，又用清泉水提煮三次。以舌舐，无盐卤味为率。滲干，取用牙硝八十斤。硫磺以牛油提煮一次，澄干，取用磺梢（硝）十斤。柳炭去尽皮节，加茄麻杆灰，共十斤。"[2]前后如此六七次。可知中外火药技术已存在巨大的差距。

**二、清代早、中期的火器技术**

清代的火药、火器生产，一直是与政治军事形势密切相关的。清军入关后，便命各旗在北京设立炮厂和火药厂，从事火炮和火药生产。《嘉庆大清会典事例》卷六八六载："顺治初年，工部设濯灵厂，委官制火药……厂设石碾二百盘……予贮军需火药，以三十万斤为率，随用随备。"可见国家生产和贮备了不少火药。康熙初年，南明灭亡，战事减少，火药、火器制造便回复到了正常状态。此时的火炮主要由北京的三个造炮处，即紫禁城养心殿、景山、铁匠营生产。前者是朝廷的主要造炮地，凡重要火炮均需由皇帝指派官员督造，后二者属工部。各地只能制造火药、鸟枪和轻型火炮，事前均须兵部、工部核准。

康熙十二年（1673 年）之后，三藩相继叛乱，玄烨决定武力平叛。并于次年八月"谕兵部：大军进剿，急须火器，着治理历法南怀仁①铸火礟，轻便以利登涉"[3]。据《嘉庆大清会典事例》卷六八六所载，由康熙十四年至六十年，新铸炮数至少达 843 位，其中十四年铸大炮 80 位；十五年铸大炮 52 位，钦定名号"神威无敌大将军"；同年并造木镶大炮 20 位；十九年造鋄金龙炮 8 位；二十年造铜炮 240 位，钦定名号为"神威将军"；二十四年造铁心铜炮 85 位、铁奇炮 1 位；二十五年造鋄金龙炮 1 位；二十六年铸炮 5 位，钦定名"威远将军"（即冲天炮）；二十

① 南怀仁，Ferdinandus Verbiest，1623～1688 年，比利时人，1657 年来华。因其通晓多门科学技术，颇受玄烨重视。

八年造大炮61位，钦定名为“威武永固大将军”；又改造木镶炮80位，钦定名“神功将军”；二十九年造铁子母炮202位、铜冲炮8位；三十四年造铜炮48位，钦定名“制胜将军”；五十七年造威远将军铜炮10位；五十八年造威远将军铜炮16位；六十年造铁子母炮6位。若新铸炮加上改造木镶炮，则至少923位，这数量是不小的。这900多位炮大体可分为三种类型，即：（1）重型火炮，如神威无敌大将军、威武永固大将军、木镶铜炮、九节十成炮等。1975年齐齐哈尔发现神威无敌大将军炮一门[4]。（2）轻型火炮，如神威将军炮、龙炮、奇炮等，多用于野战。（3）短管炮，如冲天炮、威远将军炮（冲天炮）等。其中有铜质，也有铁质。值得一提的是威远将军炮，其射程是由装药量和初射角决定的；射200～250步时，用药一斤；300步时增2两；射二三里时用药3斤。并使用了炮尺（角度尺），“其最远在炮尺四十五度，本度上下若干，即减远若干”[5]。因其系南怀仁指导下铸造的，自然采用了西方的技术成果。

雍正、乾隆时期也曾铸炮，但数量和次数都较少。《嘉庆大清会典事例》卷六八六载，胤禛在位13年，唯雍正五年造过一次，其中有远威将军铁炮10位、鋄金子母铁炮17位、鋄银子母铁炮14位、子母铁炮3位，计44位。《清史稿》卷一三九“兵十·训练”载，雍正时期，又执行起“不可专习鸟枪而废弓矢”的政策来，致使许多兵士弃火器而习弓箭。这显然是一种历史的倒退。弘历在位60年，只铸过一次炮，即乾隆十三年，“平定金川，制九节十成炮”[5]。据《钦定皇朝通典·皇朝礼器图式武具·火器》卷七八载，清代火炮至少有21种，除上面提到过的外，还有红衣炮、浑铜炮、回炮、台湾炮等。因最高统治集团不了解历史发展的进程，不了解科技发展的方向，导致决策失误，致使火器技术急速滑坡。结果便是，在不断更新的洋枪洋炮下，国家长时期陷入了被动挨打的地位。

单兵枪在清军装备中占有相当重要的地位。自入关到鸦片战争，清军单兵使用的火器主要是鸟枪。《钦定皇朝通典·皇朝礼器图式武具·火器》载：“大者曰礮”，“小者曰鸟枪”。其中所载清代军用枪有53种，包括御制和御用枪16种、花枪3种、交枪8种、线枪20种、套枪2种、奇枪3种、兵丁鸟枪1种，其中多为火绳枪[6]。自然，在“不可专习鸟枪而废弓矢”这一指导思想下，清代鸟枪技术也已停滞不前。

虽火药、火器技术在相当长一个时期内备受冷落，但人们的探索却是一刻也不曾停止过的。康熙时期我国便出现了一位出色的火器专家戴梓（1649～1727年）。《清史稿》卷五〇五“戴梓传”载：戴梓，钱塘人，“少有机悟，自制火器能击百步外”。康熙初，“以布衣从军，献连珠火铳法”。“铳形如琵琶，火药铅弹皆贮于铳脊，以机轮开闭。其机有二，相衔如牝牡。扳一机则火药铅弹自落筒中，第二机随之并动，石激火出而铳发，凡二十八发”。可见这是一种连扳、连射的单发火绳枪。其最大优点是每装药一次，便可连续射击28次。但可惜当时未受重视，亦未提交制造，并很快便失传了。此外，据《清史稿》同卷载，戴梓还仿造过西洋“蟠肠鸟枪”，并对冲天炮研究作出了一定贡献。在此有一点亦需顺带指出的是，此连珠火铳虽能连发，但与近代机枪间还是存在较大差距的[7]。

**三、19世纪40年代前后的火药、火器技术**

19世纪三四十年代之后，由于抗击外国侵略者的需要，一些有识之士提出了



"师夷长技以制夷"的口号，大量引入西方先进的火药、火器等军事技术，以达到抵御西方列强的目的。这一思想是由魏源（1794～1857年）在《海国图志》（1842年初刊）一书中最先明确提出的①，这对整个科技界和政治思想界都产生了重要的影响。林则徐（1785～1850年）等人都为这一口号的提出作了许多准备；陈阶平、丁拱辰、龚振麟、丁守存等都是这一口号的较早实践者。

道光二十三年（1843年），福建提督的陈阶平提出了仿造西洋火药的建议，并对当时火药配制和加工提出了许多看法。他认为火药制造"若不彻底讲求，总（纵）有加工火药之虚名，而无加工火药之实效"。加工造药，全在炼硝。"硝性劲直，必须煮炼如法，方能收猛力直前之效。"他还对制硝工艺做出了一系列的规范，并对炼硝季节提出了要求。"提炼硝磺，宜于春季，进药必在夏初；取其昼夜臼造晒晾，易于见功。如遇缓急需用，则长夜亦可造办。"陈阶平对硝硫提纯次数和药料碾和后的捣碾次数都要求较高，"提煮三次，臼杵三万，慎勿减少"。以保证硝、硫的纯度和火药成品的均匀性。他的配方是："每臼用牙硝八觔、磺粉一觔二两、炭粉一觔六两"，即硝76.19%、硫10.71%、炭13.09%。与当时西方火枪发射用药的成分基本一致。其将制成的火药用鸟枪试射，射程可达240弓（一弓为5尺）[8]。依中国国家博物馆所藏清代裁衣牙尺，清一尺为今0.358米[9]，此射程便达429.6米，效果甚佳。

与陈阶平不相先后，时任户部主事的丁守存（1812～约1886年）还试制了自来火药。他认为我国铳炮用纸信、烘药，以火绳点火，存在两大缺点：一是临阵忙乱；二是纸信恐风怕雨，晦夜操作不便。洋人使用的引信和发火装置，则不受天气影响，扣动枪机，便能发火并将枪弹射出。他注意到了洋枪的击发装置和使用了雷酸汞一类快速敏感型引爆药，即"自来火药"，于是开始了对自来火药的研制。当时雷酸汞的配方尚未传入，他便以净硝、火酒、潮脑、砒霜、青粉、纹银为原料，试制成功了快速引爆药，并于道光二十三年（1843年）写入了《西洋自来火铳制法》一文中[10]。丁守存制作的雷酸汞虽较英国人稍晚，但他却是独自试制成功的，也是中国火器技术的一项重要成就。

龚振麟对铸炮技术作了许多研究，鉴于泥范铸造生产率较低等缺点，他使用了铁范铸造。从现有考古资料看，我国金型铸造遗物最晚的属辽、金时期，故龚振麟的铁范铸炮可算是对这一古老工艺的发掘和利用。此法生产率高、省工省时，一定程度上满足了社会对产品的需要②。龚振麟还对炮耳位置安排也作了一些改进，以炮耳为中点，炮身前后两段之比往日为6:4，龚振麟将之调整成了5.8:4.2，并认为这最为稳定[11]。此外，龚振麟还设计了磨盘式旋转炮架，以便于大型火炮转动。此炮架分为两层，下层安轮，上层中心处设有一个形如蘑菇头的小铁轴，火炮便可通过铁轴安在架上，"虽重万斤，以一人之力，即可旋转轻捷指挥如意"。

① 《海国图志》，系道光二十一年（1841年）魏源在镇江受林则徐嘱托而辑成，二十二年初刊，为五十卷；二十七年刻本增订为六十卷；咸丰二年（1852年）增补为一百卷。

② 龚振麟谈了铁模（铁范）铸炮的多种优点。从现代技术观点看，主要应是生产率较高、节省了时间和成本，一定程度上满足了实战的需要。主要缺点是：（1）其精度往往不如泥型所铸；（2）产品易于得到白口铁组织，性硬且脆，强度可能较泥型所铸者稍低。当时我国尚无铸钢。

即可扩大火炮的扇面和打击范围[12]。江苏候补知府黄冕还十分推崇以锻钢来制造火炮，说“铁经百炼，永无铸造之炸裂”[13]。

丁拱辰对大炮和炮弹也都作了不少研究，在提倡用出蜡法铸造炮身的同时[14]，还用出蜡法铸造了空心炮弹，从而增加了射程，增强了杀伤力[15]。

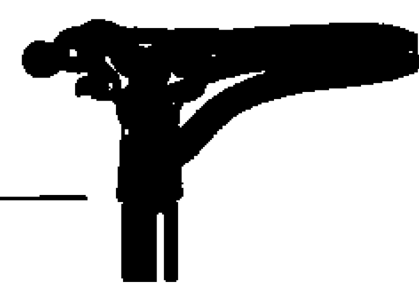
## 第九节 髹漆技术的发展

清代早中期，髹漆技术继承了明代的技术传统。康熙、雍正、乾隆三朝皆工于制作、操作熟练，依然保持在较高水平上；乾隆之后，随着社会经济和国力的衰退，髹漆技术也随之衰退下来。

此期官营和民营漆器都较发达，且各具特色。官营漆器中，最为重要的便是内廷造办处下的“漆作”。《钦定大清会典事例》卷一一七四载：养心殿造办处置有铸炉作、玻璃作、珐琅作、镶嵌作、漆作等，成造内廷交造什件。《清史稿》卷一一八“职官志”载，内务府下设有“铁作、漆作司匠，八品衔”。造办处作坊，在乾隆四十二年(1777年)以前已有42处，漆作便是其中之一[1]。清代髹漆业较发达的地方主要还是南方，如苏州，習寯等《道光苏州府志》卷一八载：苏州府有漆作，有退光、明光，有剔红、剔黑，彩漆皆精，皆旌德人为之。清代“漆作”在紫禁城和圆明园制作的漆器，以及江宁、苏州、杭州、扬州、江西、福州、广州、贵州制作的漆器，今在故宫仍有不少保存下来[2]。

朱家溍曾对《清内务府养心殿造办处各作成做活计清档》（以下简称《各作清档》）所记漆器资料进行过一些整理，在康熙、雍正、乾隆时期，髹饰工艺主要有：黑髹、朱髹、金髹、彩漆、描金、填漆、戗金、雕漆、阳识、堆起、嵌螺钿、嵌金银、描金等[2][3]。但不同历史时期，侧重点是不同的。康熙时期以黑漆嵌薄螺钿、填漆、戗金为主；雍正时以描金（包括瓷胎漆器）、彩漆、彩漆描金为主；乾隆时期除沿用康熙、雍正时期的大部分品种外，雕漆技术又有较大发展[2]。

《中国工艺美术全集》收录有清代漆器12种38件，对我们了解清代漆器装饰工艺的种类还是有一定帮助的。此12种分别为：（1）描金器，4种12件，即普通描金器6件，即166、167、176、177、182、186号；堆漆描金1件，即161号；漆灰堆纹描金1件，即181号；彩绘描金4件，即159、162、163、190号。（2）剔红器，5件，即158、168、169、170、187号，其中168号为铅胎。（3）彩绘器，3件，即156、157、180号。连同描金彩绘则计7件。（4）剔黄器，1件，即172号。（5）雕填漆器，4件，即155、160、174、175号。（6）填漆器，1件，即173号。（7）螺钿器，2件，即153、183号，皆螺钿黑漆器。（8）剔犀，3件，即154、171、185号，其中154号为瓷胎。（9）脱胎器，2件，即178、179号。（10）镶嵌，2件，即嵌骨器184号、百宝嵌“漆砂器”189号。（11）“漆砂器”，1件，即188号，锡胎。连同百宝嵌器189号，则计2件。（12）描油，2件，即164、165号[4]。可见这最多的是描金器，计12件，其次是雕镂，包括剔红、剔黄、雕填漆，计10件。这与前述《各作清档》资料可互为补充，都从一个侧面反映了清代髹漆技术的发展状况。当然，“全集”收录的图片具有一定的偶然性和倾向性，如清代漆器中，最



为习见的还是黑髹和朱髹[2]，而该“全集”竟未收录1件。

在清代髹漆艺人中，较值得注意的是晚清扬州卢葵生，其作品仅故宫博物院便收藏有10余件、上海市博物馆收藏至少6件，其他地方和个人也有收藏[5]。

清代漆器虽较精良，但基本上是沿用先世的工艺。在胎质中，较值得注意的是皮胎技术有了较大发展，使用了部分瓷胎，且皆有了专门的文献记载。此期技术创新无多，较值得注意的是漆沙器和描金技术。

**一、制胎技术**

清代漆器亦是沿用传统的器胎，清宫《各作清档》所记便有木胎、皮胎、夹纻胎、葫芦胎、铜胎、瓷胎等[2][3]，其木胎并有卷制者[2]。《中国工艺美术全集》收录有铅胎、锡胎[4]。锡胎漆器并不乏见，中国国家博物馆、上海博物馆，以及李一氓和王世襄等处都有收藏，有的还是扬州髹饰名家卢葵生所作[5]。在此值得一提的是皮胎、瓷胎和夹纻胎。

（一）皮胎。皮胎漆器至迟出现于春秋中期，大约历代都有使用。及清，更多地受到了人们的关注。业无官民，地无南北，都有皮胎漆器生产。

《各作清档》载：“雍正七年正月，做得漆皮盘、盒、碗各十件。”“雍正十一年十月五日，据宫殿监副侍李英传旨：‘着照漆皮盆做一盒牌样，再比此盆放大些，收小些，亦各做一盒牌样，俱交闽海关准泰照样各做皮胎漆盆几件，钦此’。”[2]这是官府皮胎漆器的重要资料。可知除造办处漆作外，还曾命福建定做。《各作清档》还说，雍正元年十月二十六日，贵州巡抚金世扬进呈“描金龙漆皮捧盒大小四十个”[3]。皮胎漆器的优点是体轻、不易摔坏，且便于携带。皮胎漆器的发展，也反映了社会生活的某种变化。这里说到了北京、福建、贵州三处生产皮胎漆器，且皆为宫廷所用。

清田雯《黔书》卷下“革器”条还谈到了贵州皮胎漆器生产的简单情况：“盘、盂、盅、鲞之属，凡数种矣，壶为善……用水牛皮，牝者首，牡者亚焉。阔者贵，狭者贱焉。㞼者上，皴者次焉。以水浸之，燔毛剸肉，取其泽且平也。以火烘之，龟纹缦理，取其干(乾)且厚也。以木张之，以鬈定之，以刀削之，而后膏以榀髹焉。膏之其功十也。以沙复之，以土窨之，以石砻之（原注：石出威清），而后绘以文采焉。绘之其色四也，四色皆和漆成之。首则黄，盖色之正者，故首也……黄以石黄；绛以灌口砂；碧色合靛青、石黄而一之；羊肝色兼黄、朱、靛而三之。镳车铁笔，共鸟赋形，斫轮承蜩之技也。雕虫镂卉，运斤成风，崔青蚓、边鸾之手也。”[6]这里着重谈到了贵州皮胎雕镂漆器的基本生产过程，包括牛皮的选择、处理、髹漆、调彩、雕镂等工序。鲞，《集韵》：通棬。原指木条编成的盂。㞼，《广韵》：皮厚貌。窨，本义为地窖、窖藏，此当转意为覆盖。皴，皮受冻而皱裂，毛糙。此牛皮处理工艺当是：（1）选择皮料。以雌性水牛皮为佳，阔者为佳，坚平光净者为佳。（2）以水浸之，燔毛剔肉，取其泽且平也。（3）以火烘之，取其干且厚也。（4）以木张定，以刀铲平，膏以榀髹。榀髹的具体操作不明。（5）复以沙，复以土，以石砻之；大约主要为滋润研光。这是我国古代文献中，关于皮胎漆器工艺的较为详明的记载。依朱桂辛的调查，现代贵州毕节漆胎牛皮处理的基本程序是：先将它泡软、铲平，置模型上干固后取下，再用熨斗熨平，再髹

漆[7]。这对我们了解清代贵州皮胎处理亦有一定帮助。《黔书》作者田雯，德州人，康熙甲辰（1664年）进士。其中记载大体反映了明至清代早期贵州皮胎雕漆工艺的部分情况。至于清代皮胎漆器在技术上有何进步，因缺少实物分析和文献记载，很难进行比较。

从有关资料看，除北京、福建、贵州外，清代在广东、河南、山西[8]等地都有皮胎漆器生产。如河南襄城，“也产皮胎漆器，箱匣多用牛皮，上朱漆描金色花纹，可历百年不坏，也有用马皮代制的，但不及牛皮坚固”。这些清代漆器，不少都保存了下来。国家原古物陈列所藏有皮胎大葫芦，内装成套餐具，有碗、碟、羹匙等不下百数十件，也全用皮胎做成[9]。后来，古物陈列所的部分藏品归故宫博物院收藏，其中便包括了葫芦形外盒的成套皮胎漆餐具[10]。

据宋兆麟调查，直到20世纪八九十年代，皮胎漆器技术还在四川凉山彝族地区保存着。其皮胎制作过程是这样的：（1）先将牛皮剥下，后刮毛，并入水中浸泡。（2）依所需器物形状剪成皮料，再入水中浸泡。（3）制皮胎，即将泡好的牛皮紧紧地包扎在内模上，越紧越好，再用木钉钉住。内模即所需器物的内部轮廓的模型，用木材或石料制成。（4）用石锤敲打绷紧了的牛皮，令其平整。（5）阴干。（6）割掉器口以上的牛皮，取出内模，取下皮套，即是皮胎。这种皮胎可做酒杯、酒碗、护臂、盾牌、甲胄[11]。这对我们了解清初《黔记》中的皮胎工艺具有重要的意义。

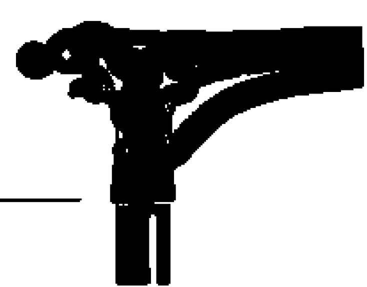
（二）瓷胎。原始社会、先秦、两汉等漆器中都出现过陶胎，西周有过原始瓷胎，明代出现过紫砂胎，但总体上看，陶胎、瓷胎漆器数都不是太多。在此值得注意的是，清代出现过多处关于瓷胎漆器的记载。《各作清档》载：雍正五年三月初一圆明园来帖内称：“着传给江西烧造瓷器处，将无釉好款式的瓷碗烧造些来，以便漆作。八月二十九日张玉柱交来无釉瓷碗八十件”。一次八十件瓷碗用作漆胎，数量是不少的。又，“雍正九年四月二十六日，内务府总管海望持出无釉白瓷碗四件，奉上谕：将无釉白瓷器上做洋漆，半边或画寸龙，或画梅，或竹，或山水；半边着戴临写诗句。钦此”[3]。洋漆，指描金，下面将要细谈。

故宫博物院收藏康熙寿字云纹瓷胎剔犀尊1件，瓷胎，口径22厘米、足径16厘米、高44厘米。器形如觚，外底有青白釉，中心有青花“大明成化年制”双行竖款，为康熙年仿制。尊表及口里用黑、黄二色漆分层涂成，尊表上下两段雕云纹，中部一周雕四团寿字纹[4]。

（三）夹纻胎。我国古代夹纻胎至迟发明于战国中期，之后便沿用了下来，至迟东晋便出现了夹纻胎制作的佛像。文献上关于夹纻胎操作的记载始见于元。在清代，值得注意的是：（1）“夹纻胎”之称最终演变成“脱胎”，并沿用至今。（2）“工部工程则例”中有了夹纻胎工艺的用料规范。

“脱胎”一词在清代文献中常可看到。《各作清档》载：雍正七年“二月十六日，郎中海望、员外郎满毗传做备用托(脱)胎漆盒二十八件”[2]。雍正某年二月所做红漆托胎小盘无具体年款，乾隆时曾大量制造。乾隆曾题诗云：“吴下髹工巧莫比，仿为或比旧还过。脱胎那用木和锡，成器奚劳琢与磨。”[3]这些地方都明确用到了脱胎(托胎)一词。

《圆明园内工佛作则例》在谈到夹纻胎佛像时，也用到了这个“脱”字，并谈





到了用料规范，说：“佛像脱纱堆塑泥子坐像，法身高一尺四寸至三尺，立胎糙泥一遍，衬泥一遍；长面像粗泥一遍，中泥一遍，细泥二遍。每高一尺用：黄土一筐，西纸六张，砂子三分筐，麦糠三分筐，麻经(筋)二两，塑匠一工二分。每尊用秫秸半束。漆灰脱纱使布十二遍，压布灰十二遍，长面像衣纹熟漆灰一遍，垫光漆三遍，水磨三遍，漆灰粘做一遍，脏膛朱红漆二遍。每尺用：严生漆十二两六钱，夏布一丈四尺四寸，土子面三斤十五两二钱，笼罩漆六钱，漆朱一两二钱，退光漆一斤十五两六钱，脱纱匠二工四分”。此“堆塑泥子”，即塑造泥模，以为内范，之后再在表面糊上粗细相同的泥料。所谓“脱纱”，使布胎成为脱空像的过程。

**二、装饰技术**

清代漆器装饰工艺中较值得关注的应是下列两项：一是漆沙器，二是描金。

（一）漆沙器。即以和沙之漆而髹得之器，常用作砚台、盒、壶诸物。其始见于汉，即前云扬州姚庄 101 号汉墓中出土的漆沙砚[12]，三国和宋代等都有使用。及清康熙时，扬州髹漆名家卢映在城南购得“宋宣和内府制”漆沙砚一块，于是授工仿造。及卢葵生（卢映之孙）时名声大噪，漆沙器技术亦发展到了它的顶峰期。顾广圻《思适斋集》卷五“漆沙砚记”在谈到漆沙砚的优点时说：“予惟砚之品颇夥，产于天者端溪称首，为于人者澄泥盛行，而逮今日端溪老坑采凿已罄，澄泥失传，粗疎弗良。求砚之难殆同赵璧。若此漆沙有发墨之乐，无杀笔之苦，庶与彼二上品媲美矣。适当厥时以济天，产之不足且补人为所未备。”[13]可见这种砚台不但轻便，有沙质感，利于发墨，无杀笔之苦，而且开辟了砚台原料的广阔来源。

目前见于各家收藏的漆沙砚较多，据张燕调查，故宫博物院至少 7 件、中国国家博物馆至少 3 件、上海博物馆至少 2 件；李一氓原藏 5 件，后捐四川省博物馆[5]；其他一些博物馆和私家可能还有收藏。漆沙器多为木胎，也有锡胎等，有的可能“无胎”；其漆色有黑色、鳝鱼青色、紫色等；其器身或器盖亦可做出雕刻、镶嵌等不同的装饰。今举例如下：

葵生款人物纹锡胎漆沙壶。通高 12 厘米。长柄，短流，外涂漆沙皮，作鳝鱼青色，造型雅致，小巧玲珑。壶身一侧浅刻山石人物，左上角刻有楷书“扫石待烹茶陈农”七字。右下角刻白文篆书“葵生”小方印一。另一侧刻有清代史学家钱大昕的诗，中国国家博物馆藏[4]。

“卢葵生制”雄鸡图百宝嵌长方形漆沙砚盒及漆沙砚。盒口长 22.6 厘米、宽 5.7 厘米。通身沙漆地，盖面嵌形态各异的三只雄鸡，旁嵌山石、菊花，皆用岫岩玉、螺钿、红珊瑚、绿松石、象牙、玳瑁嵌成。立壁四侧光素无纹，外底中心有红漆篆书“卢葵生制”方印。盒内有漆沙砚一方。故宫博物院藏[4]。

“卢葵生制”嵌梅花纹沙砚。砚台宽 8.5 厘米、长 14.6 厘米、厚 1.9 厘米，黑色，内含极细的闪光沙粒。其中有无胎骨不详。漆砚质地之粗细约与歙石相当，似相当发墨。重 119 克，较轻。墨池凹下，两端深分别为 0.6 厘米、0.8 厘米。砚侧阴刻篆书“葵生”二字。砚台底外髹紫漆，里髹黑漆。底外为四乳足，中间凹入部分亦髹黑漆，正中有“卢葵生制”阳文印，此印系图章蘸朱漆钤盖而成。砚盖外表亦髹紫漆，里髹黑漆盖嵌折枝梅花两本，梅花系螺甸琢成，花瓣饱满，光彩夺目。全部花纹镶嵌都高出漆面。砚台装于一个十分别致的楠木盒内。赵元方藏[14]。

此三件漆沙器皆为卢葵生制。卢葵生，扬州人，生活于乾隆至道光年间，在漆沙器技术上有较高的造诣，一直受到当代和后世学人的称赞[15]。

颜色着紫色的沙漆器所见有：上海博物馆藏卢葵生款锡胎仿紫沙漆壶、南京博物院藏道光十六年卢葵生制仿紫沙漆茶壶等，所髹皆是紫色沙漆[5]。

关于沙与漆的和制方法，今已难得详知，但古人对沙、漆的选择加工都是十分重视的。这可由漆沙器铭中看到。故宫博物院藏八宝灰瓶漆砚铭云："恒河沙，沮园漆，髹而成，研同金石，既寿其年，且轻其质，子孙宝之传奕奕。"下落有正方篆文小印"葵生"。此"恒"当有两层意思，一是长久、永恒意；二是恒水意，《禹贡》"冀州"所云："恒、卫既从。""沮"、"漆"，当为漆沮二水之会意。《禹贡》"雍州"条："漆沮既从。"中国国家博物馆藏八宝灰漆砚盒（木胎）一，其漆沙砚铭云："和沙漆，含辉光，比金玉，大吉祥"[5]。这两段铭文都包含了对沙和漆的性能要求。

（二）描金器

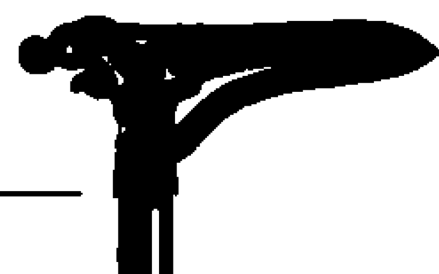
描金至迟发明于战国早期，历代都有采用。及清，尤其是雍正时期，成了养心殿漆作的重要产品之一。近代北京匠师的基本操作是：在退光漆地上先用色漆（或朱或紫）画花纹，待干后再在花纹上打金胶，再将金贴上去[16]。具体做法是：先打磨好中涂漆，再髹红色或黑色的上涂漆，待干后打磨平滑，再作两次推光，再用半透明漆调和彩漆，并薄薄地将花纹描到漆地上，后入温室烘烤，待漆将干时，用丝棉球着金、银粉刷在花纹上，遂成金银纹。此半透明漆即经过脱水精制者；调和用彩漆多为黄色，以便为金色衬底[17]。

描金器的漆地可有黑漆、朱漆及其他色漆。在《中国工艺美术全集》收录器物中，盘161、177、186号皆为黑漆地，盒176号为紫漆地，盒181号为金漆地，盒182号为洒金地；手炉166号开光内为朱漆地，开光外为米黄漆地；手炉167号开光内为黑漆地，开光外为黄褐色地[4]。其描法亦各有别，有"黑漆理描金"、"彩金象描金"、"金理钩描漆"、"金理钩描油"、"识文描金"、"洒金"云云[2]。描金器亦可兼彩绘、堆漆等装饰，如《中国工艺美术全集》所载，第159、162、163、190号器物便是描金兼有彩绘[4]。

清代有人称"描金漆"为"洋漆"、"洋金"，这是对东洋描金工艺的一种误解或褒奖。大约8世纪时，我国的描金技术便传到了日本，元、明两代，日本髹漆技术达到较高水平，并较多地回传到中国来，受到中国业界的赞许。明《髹饰录》"阳识"第八"识文描金"条杨明"注"云："傅金屑者贵焉。倭制殊妙。"明高濂《遵生八笺》卷一四载[18]："漆器惟倭为最，而胎坯式制亦佳。"当时曾有人认为这种描金工艺系东洋传来，故谓之"洋漆"或"洋金"。

## 第十节　玻璃技术的发展

清代是我国古代玻璃技术发展的重要阶段，为满足日常生活和科学研究的需要，康熙时设立了皇家玻璃厂，并引进了西方技术和人才，使玻璃的产量和质量都有了较大提高，生产了我国历史上的第一批光学玻璃。乾隆时期，造办处玻璃厂使用了盆硝作为熔剂，使主要熔剂实现了从钾盐到钠盐的转变。清代末年，山



东颜神镇亦引进了西方配料法，使钠钙玻璃开始推广，并最后完成了由传统钾系、铅系玻璃向钠钙玻璃的转变。

**一、造办处玻璃厂的设立**[1][2]

我国古代玻璃技术经常受到最高统治者和王公贵族们的垂青。先秦有随侯作珠；西汉时期，武帝曾派人入海市明珠和璧流离；及元，“将作院”下设有“瓘玉局”；明时，颜神镇孙家自洪武时便领内官监造玻璃青帘世业。清代则建立了皇家玻璃厂，其被重视程度为历代所不及。

从有关记载看，清廷造办处玻璃厂设立于康熙三十五年，厂址在京城西安门内，蚕池口之西。《钦定大清会典事例》卷一一七三载：“（康熙）三十五年（1696 年）奉旨设立玻璨厂，隶属于养心殿造办处，设兼管司一人……四十九年，设玻瓈厂监造二人。”[3]此谈到了玻璃厂的创办时间和职官。

清于敏中《钦定日下旧闻考》卷七一“官署”载：“造办处掌成造诸器用之物，康熙三十一年以慈宁宫之茶饭房一百五十有一楹为造办处。四十八年，复增白虎殿后房百楹。所属玻璃厂在西安门内，蚕池口之西，共房三十有六楹。”[4]此说到了玻璃厂的位置。

此外还值得注意的是，这两条文献都用到了“玻璃”一词。此词在宋《白雪圣石经》[5]和明《物理小识》卷七便已提到，康熙中期便较多地使用起来。

设立造办处玻璃厂的目的，除制造一般生活日用器和饰器外，还有一个较为重要的任务，便是生产光学透镜等器。据说耶稣会士苏霖沛（Jose Suarez，S. J.，1656 ~ 1736 年）“当时侍奉皇帝的工作就是为各种透镜制造玻璃”[1]。

有关研究认为，造办处玻璃厂在建设和生产过程中，耶稣会士都起到过重要的作用。首先，它的设置便是在德国传教士纪里安（Kilian Stumpt，1655 ~ 1720 年）的主持下进行的[6]。纪里安于 1694 年抵达澳门，1695 年到北京；康熙四十九至五十九年（1710 ~ 1720 年）授钦天监正职[2]。清朝统治者对西方玻璃一直十分关注，外国人的贡品中亦常有玻璃。据说 1689 年康熙南巡到杭州时，传教士殷铎泽（Prospero Intorcetta，1625 ~ 1696 年）向他进奉的礼品中，有一个多彩玻璃球，另一传教士则进奉了一个小型望远镜、一个梳妆镜和两个玻璃花瓶。康熙对这些玻璃器大加赞赏，并认为玻璃器是最为珍贵的贡品之一。这些优质玻璃器的传入，对皇家玻璃厂的设立显然是有影响的[1]。

宫廷玻璃作坊自设立后，一直延续到了宣统三年。其间生产了大量玻璃器，其品种也有了较大的扩展，尤其是雍正时期。从《各作清档》等的记载来看，其中有生活用品、陈设品、文房用品、宗教用品和赏品五类。生活用品包括杯、碗、罐、盒、渣斗、鼻烟壶等；陈设品包括瓶、花盆、磨棱球、菊花碟、轩辕镜等，其中瓶类又有天球瓶、八棱瓶、直颈瓶、觚形瓶、胆瓶等[2]。可知容器、陈设器都有明显的增加。

有一点值得注意的是，虽玻璃在清代已使用较多，但人们对它依然是十分器重的。据《清实录》载，雍正时，玻璃还与宝石一起，正式列入了典章制度。如官员所戴帽顶，“奉国将军及三品官，俱用蓝宝石或蓝色明玻瓈”；“奉恩将军及四品官，俱用青金石或蓝色涅玻瓈”；“五品官用水晶或白色明玻瓈”；“六品官用砗

礫，或白色涅玻瓈”[7]。即使到了清代晚期，宫廷内以各种玻璃作为珍珠宝石代用品的现象依然有增无减。

清代玻璃器的主要产地有四处：即山东颜神镇、北京、广州、苏州[8]。前二者的情况前已分别提及，今谈一下其他地方。

据《各作清档》载，雍正六年内廷已有“广玻璃鼻烟壶”[9]，乾隆二十一年粤海关万寿进贡玻璃盖碗[10]。清人梁同书在《古铜瓷器考》一书中说：中国玻璃“质脆，沃以热汤应手而碎”。同时还说到了苏州、广州、山东青莱三地产玻璃。人们把苏州生产的玻璃称为“苏铸”，并认为苏铸不如广铸[11]。此外，同治时蜀人王侃《江州笔谈》谈到了重庆玻璃炉及其生产的一些情况。这一点下面再谈。

## 二、清代玻璃成分选择和原料配制

清代在玻璃成分选择上值得注意的事项是：清代中期，造办处玻璃厂使用了盆硝作为主要熔剂，清代晚期引入西方技术，开始生产钠钙玻璃。

表 9-10-1 清至民国玻璃成分分析

| 编号、时代、名称、性状 | 成分(%) | | | | | | | | | | | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | PbO | BaO | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | CuO | 其 他 | |
| 1. 清红套涅白玻璃片 | 64.91 | 0.54 | 0.11 | 4.57 | | 2.03 | 0.13 | 15.34 | 3.9 | | $B_2O_3$ 2.59<br>$As_2O_3$ 2.28 | [6] |
| 2. 前器之红套 | 65.52 | 0.32 | 0.12 | 4.57 | | 2.04 | 0.07 | 14.41 | 4.44 | | $B_2O_3$ 2.3<br>$As_2O_3$ 2.45 | [6] |
| 3. 清蓝色玻璃瓶耳 | 66.53 | 1.03 | 0.25 | 4.86 | | 1.85 | 0.02 | 15.78 | 3.87 | | CoO 0.18<br>$B_2O_3$ 2.05 | [6] |
| 4. 清玻璃水盛 | 74.80 | 1.63 | 0.15 | 0.25 | | 0.19 | 0.04 | 20.89 | 0.18 | 0.49 | | [6] |
| 5. 清鼻烟壶 | 67.74 | 0.8 | 0.37 | 0.23 | | 5.61 | 0.09 | 21.76 | 0.42 | | | [6] |
| 6. 20(?)世纪紫色玻璃 | 70.8 | 1.11 | 0.26 | 0.08 | 0.1 | 6.39 | 0.17 | 18.5 | 1.7 | 0.005 | MnO 0.57 | [12] |
| 7. 清乳白花瓣玻璃 | 60.57 | 5.66 | 0.48 | | | 12.39 | 2.21 | 12.76 | 3.88 | | | [6] |
| 8. 清乳白色玻璃 | 58.5 | 1.72 | 0.51 | 0.04 | 0.07 | 21.1 | 5.25 | 10.1 | 2.56 | 0.005 | MnO 0.012 | [12] |
| 9. 清广州玻璃残块 | 59.17 | 3.93 | 0.93 | | | 6.38 | 6.87 | 2.79 | 17.54 | 1.05 | MnO 0.38 | [6] |
| 10. 清广州玻璃碗片 | 69.80 | 1.22 | 0.29 | | | 14.10 | 0.09 | 0.28 | 11.98 | | | [6] |
| 11. 17~19世纪灰色透明玻璃 | 40.0 | 0.17 | 0.15 | 48.5 | 0.1 | 0.27 | 0.12 | 10.6 | 0.25 | 0.01 | MnO 0.025 | [12] |
| 12. 18~19世纪深蓝色玻璃 | 73.6 | 1.55 | 0.24 | 0.04 | 0.002 | 4.52 | 0.24 | 0.41 | 19.1 | 0.005 | MnO 0.005 | [12] |
| 13. 19~20世纪深蓝色玻璃 | 57.3 | 1.61 | 0.24 | 17.5 | 0.1 | 6.52 | 0.46 | 1.27 | 13.9 | 0.63 | MnO 0.082 | [12] |
| 14. 20世纪(?)黄绿玻璃 | 62.1 | 0.26 | 0.17 | 17.8 | 0.1 | 1.86 | 0.093 | 14.9 | 2.38 | 0.15 | MnO 0.008 | [12] |
| 15. 20(?)世纪无色玻璃 | 42.3 | 0.13 | 0.12 | 44.9 | 未见 | 0.76 | 0.074 | 10.9 | 0.68 | 0.01 | MnO 0.034 | [12] |
| 16. 20(?)世纪紫色玻璃 | 71.0 | 4.31 | 0.19 | 0.02 | 0.05 | 5.65 | 0.26 | 0.76 | 17.4 | 0.005 | MnO 0.009 | [12] |



（一）清代玻璃成分分析

表 9-10-1 列出了 13 件清代玻璃的成分[6][12]。多数标本的出土情况不明；9 号标本为深蓝色玻璃残块；10 号标本为玻璃小碗残片，较薄，泛浅绿色，透明，但未达水晶玻璃的纯洁程度[6]。由之可见：

1. 其大体可区分为 4 系 10 型：

（1）钾系，4 型，计 7 件标本。

$K_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 4 号。

$K_2O-PbO-Na_2O-SiO_2$ 型，3 件，即标本 1、2、3 号。

$K_2O-CaO-SiO_2$ 型，2 件，即标本 5、6 号。

$K_2O-CaO-Na_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 7 号。

（2）铅系，2 型 2 件。

$PbO-K_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 11 号。

$PbO-Na_2O-CaO-SiO_2$ 型，1 件，即标本 13 号。

（3）钙系，2 型 2 件。

$CaO-K_2O-MgO-SiO_2$ 型，1 件，即标本 8 号。

$CaO-Na_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 10 号。

（4）钠系，2 型 2 件。

$Na_2O-CaO-SiO_2$ 型，1 件，即标本 12 号。

$Na_2O-MgO-CaO-SiO_2$ 型，1 件，即标本 9 号。

民国标本 3 型 3 件：

$Na_2O-CaO-SiO_2$ 型，1 件，即标本 16 号。

$PbO-K_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 15 号。

$PbO-K_2O-Na_2O-SiO_2$ 型，1 件，即标本 14 号。

2. 在清代 13 件标本中，数量最多的是钾系玻璃，计为 4 型 7 件，占此期标本总数的 53.8%。可知钾系玻璃依然是清代玻璃的主流。其中鼻烟壶（标本 5 号）含 $K_2O$ 量最高，达 21.76%。

3. 铅系玻璃（标本 11、13 号）依然保存着，直到民国还可看到，但数量较少。虽有多件标本显示了钡，但含量甚低，大体上可视为杂质。

4. 约 18～20 世纪，出现了标准的钠钙玻璃（12 号标本）。标本 16 号属 20 世纪，当属同一工艺类型。

在上述 4 系标本中，钾系、铅系玻璃当系本国所产；钙系和钠钙系玻璃则须细加分析，有的可能是外来，有的则应是本国所产的。其中标本 8 号（钙系）、9 号（钠系），有学者认为它来自广州，是进口料回炉而制得的产品[6]。但其未说出依据，可作进一步研究。从大量考古资料、文献资料来看，清代中期之前，钙系玻璃一般都应当是本国生产的，钠钙系玻璃当绝大多数是外国进口的。我国在这一历史时期生产的钠钙玻璃很少，而且带有一定偶然性，未能成为一种成熟工艺而稳定下来，所以这一时期内，我国玻璃成分选择和原料配制，与明代并无大的变化。从下述记载看，这种变化大约是清代中期之后才逐渐发生的。

（二）造办处玻璃原料的基本配置和主要熔剂的选择

清造办处档案中，保留有一份乾隆之后的玻璃烧造工程则例，这对我们了解清代玻璃的基本配料和主要熔剂的选择，都是很有帮助的。

据《各作清档》载：乾隆十七年（1752 年）十一月二十日至十八年三月十三日，烧大窑共 113 日，所用马牙石面 2329 斤、盆硝 1376 斤、硼砂 601 斤 8 两、砒霜 230 斤 6 两、紫石 102 斤、顶圆紫 13 斤 11 两、定粉 234 斤、赭石 3 斤 10 两、灵紫石 12 两、青紫石 2 斤 4 两、轿顶锡 6 斤、开平土 1860 斤、红飞金 4866 张[13]。此“大窑”是为烧造大型花灯的，“小窑”则烧造年节进贡玻璃活计或皇帝临时指令生产的各种活计[8]，其含义与前述颜神镇元末明初窑址命名法是有差别的。

看来，清宫廷作坊玻璃配料中，基本组分依然是马牙石粉，此外还用到了紫石，这与明末清初《颜山杂记》所云一致。但其他一些物料，尤其是主要熔剂，却发生了不少变化。

马牙石面，当为长石粉，这在前面已谈到。大约亦是后世的所谓白砾石。20 世纪 30 年代，有学者对博山玻璃工艺作过一次考察，其基本原料是砂子（莱芜产）、石灰石、菱石、紫石（皆博山产）、白砾渣（淄川产）。此白砾渣的成分是：$SiO_2$ 87.78%、$Fe_2O_3$ 0.32%、$Al_2O_3$ 8.29%、CaO 0.43%、MgO 0.09%、$K_2O$ 1.97%[14]。长石种类较多，看来这应是钾长石。

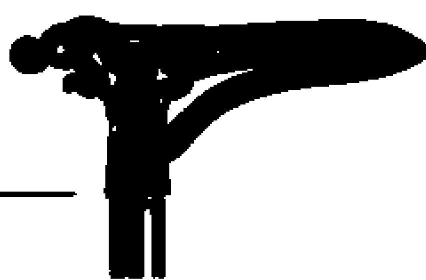
盆硝。又名芒硝，即十水硫酸钠 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$。《重修政和经史证类备用本草》卷三“芒消·今注”：“以煖水淋朴消，取汁炼之令减半，投于盆中，经宿乃有细芒生，故谓之芒消也。又有英消者，其状若白石英，作四五稜，白色，莹澈可爱。”其名为“盆消”，或与投于盆中有关。前面谈到，宋代还用黄丹和“盆消”制作过琉璃[15]。据考，《神农本草经》中的“消石”主要为硫酸钠[16]，可知医学上对硫酸钠的接触和利用，至少可上推到东汉时期。此清代文献便是用芒硝制作玻璃的最早记载。但因古人有过将芒硝误作硝石的情况，故用盆硝制作玻璃的起始年代，当在清代以前。

定粉，即胡粉、铅白，碱式碳酸铅，化学式为 $Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$。

开平土，当指开平所产之土。主要成分是一种硅铝酸盐[6]。

硼砂。化学式为 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$，早在五代，人们便用它入药，并用到了金属焊接中，五代至宋的医药学家日华子云：“蓬砂，味苦，辛暖，无毒，消痰止嗽，破症结喉痺及焊金银用，或名鹏砂”[17]。

在这些组分中，比例最大的是马牙石面，其次为开平土，再次为盆硝、硼砂、定粉、砒霜、紫石等。看来，其产品当含硅量较高，且含有一定量铝，主要熔剂当是盆硝，其次是硼砂、定粉和紫石等，砒霜或可起到乳浊作用，赭石当为着色剂。表 9-10-1 中的标本 2，光谱分析显示有微量的金，人们推测其可能使用了黄金显色[6]。顶圆紫即钴土矿，着色剂。表 9-10-1 所列标本 3，即是用顶圆紫呈色的[6]。青紫石等的成分和作用不太了解。此盆硝和硼砂都含钠，定粉含铅，紫石含钙。我们推测，此玻璃当含钠量稍高，且含有一定量的铅和钙。烧制过程中，各物料间自然还会发生一些化学变化，但这配料比对我们了解产品成分还是很有帮助的。这是今见玻璃配料中，明确提到使用盆硝（十水硫酸钠）的最早记载。依此可以肯定，至迟乾隆十七年前后，造办处玻璃配料中便把硫酸钠作为主要熔



剂了，这是清代玻璃工艺的一个重要特点，也是它区别于前代玻璃配料的地方。我国钠玻璃的起点，当可上推到这一时期。此外，此配料与《颜山杂记》所列还有一些不同：（1）此未提到凌子石，即白云石（$CaCO_3 \cdot MgCO_3$），这自然影响到它的含钙含镁量。（2）此大量地使用了开平土。（3）此增添了硼砂、砒霜、顶圆紫等，这一定程度上说明人们对玻璃配料又进行了新的探索。

（三）着色剂选择技术的发展

清代玻璃的色彩明显增加，《各作清档》存有不少雍正、乾隆时期的资料，经有关学者整理，雍正时期的单色玻璃计30余种[2]，乾隆时计20余种[8]，说明此期着色剂选择和搭配技术都有了较大进步。

雍正期的单色玻璃有：红、大红、亮红；绿、涅绿、豆绿、淡绿、松绿、假松石色、翡翠色；白色、月白色、亮白色；葡萄色、黄色、亮黄色、金黄色、橘黄色、酒黄色；蓝色、涅蓝、亮蓝、天蓝、雨过天晴色；紫青色、天青色；金珀色，黑色，蜜蜡色，琥珀色等30余种。从透明度上看，则可区分为涅玻璃（不透明）和亮玻璃（透明）两种。雍正时期生产最多、器型最为丰富的是单色玻璃[2]。

乾隆时期的单色玻璃有：涅白、砗磲白、月白；浅黄、娇黄、雄黄；亮茶、亮茶黄；宝蓝、空蓝、亮浅蓝、亮深蓝；桃红、亮深红、亮玫瑰红、亮深宝石红；豆青、粉绿；豇豆紫、浅紫、亮深紫；水晶、茶晶等20余种[8]。

这不同彩色的获得，与着色剂的选择、搭配、温度和气氛的控制等都有关系。只可惜有关操作资料未曾看到。它可能与西洋技术的影响有关，但主要应是有关匠师的努力和创造。

（四）其他地区玻璃原料的选择

颜神镇。清初之后，有关其玻璃配方的资料较少，大约是沿袭《颜山杂记》的配比，使用硝石作助熔剂的。1869年，一位名叫维廉顺（Rev. A. Williamson）的人曾到过博山，并在《中国北部旅行日记》中说："中国人于博山县附近发现一种石块，碎之与硝酸钾相化合，则成琉璃，其地土人之从事于斯者历年已久。吾见其制造精美之玻璃窗片、大小不等之响葫芦、模制之刻画杯，以及灯龙（笼）念珠各种无量数之装饰物品"[18]。英人波西尔（S. W. Bushell）曾在北京居住过30余年，并著有《中国美术》一书，其认为维廉顺所说的石块，疑是石英[18]。可知直到19世纪后期，博山依然是以硝石为熔剂的。直到光绪三十二年（1906年），博山才引进了德国机器，聘用德国专家，使用$Na_2CO_3$制造玻璃。

清代广州玻璃配方的资料较少。1790年赵翼《陔余丛考》卷三〇"琉璃"条载："俗所用琉璃，皆消融石汁及铅锡，和以药而成。其来自西洋者，较厚而白。中国所制则脆薄而色微青……余在粤东，有西洋人能在中国制琉璃，试之亦采石熔汁并铅，和药而成。"可知这国产玻璃是铅玻璃。清郑复光《镜镜诊痴》（1846年）卷一"镜质"条也有类似说法："据云，闻广人以博山石粉加铅药炼成料，亦如此吹成大泡，再火而平之，予曾游粤，见肆中吹成之泡高三尺余，大如瓮。"[19]足见清代晚期时，广东还用博山石粉加铅生产过玻璃，其产品可能是铅玻璃或钾铅玻璃。虽钠玻璃器早已传入我国，但只是少数人手中用来欣赏的艺术品，直到清代中、晚期，在我国占主导地位的依然是铅玻璃和钾玻璃。

（五）关于北京玻璃制品的原料来源

北京玻璃制品的原料当有两个来源，一是皇家玻璃厂自产，其在乾隆十七年以盆硝为主要熔剂，生产过含钠较高的玻璃料。这在上面已经提到。二是由颜神镇提供的。此除了民间传说外，英人波西尔在《中国美术》卷下“玻璃”条也曾提及：“博山县为中国制造精良玻璃著名之地，有似白玉之货品，及琉璃瓦片等物，多为北京商人所收买，号曰京料，而实则山东博山县人之所制也。”“料为玻璃之俗称，关税表中称曰料器。京料之真者乃取博山所制之玻璃棒及玻璃片，至京融化，制成货物。故其构制及价格，均远过于在博山制成之京料也。”[18]看来，此第二种的数量也是较大的，且延续时间较长，致使有学者认为，“清代北京玻璃业严格地说只不过是玻璃加工业，其所用原料来自博山”[8]。

**三、关于我国古代玻璃系演变的简单情况**

表9－10－2所示为人们分析过的我国由先秦至清代的料器、玻璃成分分布的简单情况，由西周至清代，今统计到的标本为183件，可分成5系35型。下面简单地作一归纳。

（一）最早的玻璃系

我国最早的玻璃始见于新疆，其相当于西周至春秋早期，共包括2系5型，即：

钙系：钙—镁—钾—硅型、钙—钠—镁—硅型、钙—锑—镁—硅型、镁—钙—硅型。

铅系：铅—钙—硅型。

中原最早的玻璃属春秋晚期，计3系3型，即 $Na_2O-CaO-SiO_2$ 型、$K_2O-CaO-SiO_2$ 型、$CaO-SiO_2$ 型。

（二）各系玻璃发展和演变的简单情况

1．铅钡系，计5型，直属型1，旁属型4（即铅钙钡型、钡铅钙型、铅钡钠型、铅钡钙型），计42件标本。

此体系始见于战国时期，东汉还可看到，此后再也未见。在战国玻璃中，铅钡系是占据主导地位的。战国时期，此系达21件，占此期标本总数（43件）的48.84%。秦、汉时期，其主导地位虽为钾系玻璃取代，但其比例依然较大；秦、汉玻璃标本计65件，铅钡系达21件，占此期标本总数的32.3%。在整个铅钡系中，数量最多的是铅钡钠型，即 $PbO-BaO-Na_2O-SiO_2$；战国铅钡系计21件标本，此型便有12件；秦、汉铅钡系计21件标本，此型便有17件。

2．铅系，计分6型，直属型1，旁属型5（铅钠型、铅钾型、铅钙型、铅钾钙型、铅钠钙型），计20件标本。

在新疆，此系始见于西周至春秋早期的克孜尔墓地。在中原地区则始见于战国，主要分布于唐、宋时期，一直延续到了近现代。隋、唐标本总计15件，此系占去7件，占此期标本总数的46.7%；宋、辽标本计15件，此系达8件，占此期标本总数的53.33%。从文献记载看，明代也应当生产过铅系玻璃的，但有关标本中却未显示出来。

3．钾系，计5型，直属型1，旁属型4（钾钙型、钾钙钠型、钾钙铅型、钾铅





钠型），计 60 件标本。

**表 9－10－2　　我国古代玻璃琉璃成分分布小计**

| 类型 \ 时代 | | 西周至春秋早期 | 春秋晚期 | 战国 | 秦汉 | 魏晋南北朝 | 隋唐 | 宋辽 | 元 | 明 | 清 | 小计(件) 型 | 小计(件) 系 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 铅钡系 | 铅钡型 | | | 6 | 1 | | | | | | | 7 | 42 |
| | 铅钙钡型 | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| | 钡铅钙型 | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| | 铅钡钠型 | | | 12 | 17 | | | | | | | 29 | |
| | 铅钡钙型 | | | 3 | 1 | | | | | | | 4 | |
| 铅系 | 铅型 | | | | | | 6 | 3 | | | | 9 | 20 |
| | 铅钠型 | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | 3 | |
| | 铅钠钙型 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| | 铅钾钙型 | | | | | | | 2 | | | | 2 | |
| | 铅钙型 | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| | 铅钾型 | | | | | | | 3 | | | 1 | 4 | |
| 钾系 | 钾型 | | | 5 | 36 | | | | | 1 | 1 | 43 | 60 |
| | 钾钙铅型 | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| | 钾钙型 | | 1 | 2 | 1 | | | | | 3 | 2 | 9 | |
| | 钾钙钠型 | | | | | | | | | 3 | 1 | 4 | |
| | 钾铅钠型 | | | | | | | | | | 3 | 3 | |
| 钠系 | 钠型 | | | | 1 | | | | | | | 1 | 40 |
| | 钠钙型 | | 1 | 4 | 4 | 3 | | | | | 1 | 13 | |
| | 钠镁型 | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| | 钠钙镁型 | | | | | | 1 | 1 | | | | 2 | |
| | 钠镁钙型 | | | | | | 3 | | | | 1 | 4 | |
| | 钠钙钾型 | | | | | 4 | | 5 | 1 | | | 10 | |
| | 钠钾型 | | | | | 2 | | | | | | 2 | |
| | 钠钙铅型 | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | 钠钾钙型 | | | 1 | | 3 | 1 | 1 | | | | 6 | |
| 钙系 | 钙型 | | 1 | | | | | | | 1 | | 2 | 21 |
| | 钙钠型 | | | 1 | | | | | | | 1 | 2 | |
| | 钙钾钠型 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | 3 | |
| | 钙钠镁型 | 1 | | | | | 1 | | | | | 2 | |
| | 钙镁钾型 | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| | 钙锑镁型 | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| | 钙钠钾型 | | | 2 | | | | | | | | 2 | |
| | 钙钾型 | | | 4 | | | | | | | | 4 | |
| | 钙钾镁型 | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | 3 | |
| | 镁钙型 | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| 标本总数(件) | | 5 | 3 | 43 | 65 | 12 | 15 | 15 | 1 | 11 | 13 | 183 | 183 |

注：西周至春秋早期的 5 件标本，为新疆克孜尔水库墓葬出土。

此体系始见于春秋晚期，战国便有了较大发展，两汉时更大地发展起来，但唐、宋钾玻璃标本较少，明、清时期复又增多起来。战国时期，此系标本 7 件，占此期标本总数（43 件）的 16.28%；秦、汉时此系标本 37 件，占此期标本总数（65 件）的 56.92%。在此系标本中，数量最多的是钾型，即 $K_2O-SiO_2$，秦、汉时期的钾系玻璃计 37 件，36 件皆为此型。

4．钙系，包括 10 型，直属型 1、旁属型 9（钙钠型、钙钾钠型、钙钠镁型、

钙镁钾型、钙锑镁型、钙钠钾型、钙钾型、钙钾镁型、镁钙型），计21件标本。

此系在新疆始见于西周至春秋早期，中原始见于春秋晚期，之后便延续了下来，多数时代都有使用，但分布较为分散，除战国时期有一定发展外，历代都使用不多。

5. 钠系，计9型，即钠型、钠钙型、钠镁型、钠钙镁型、钠镁钙型、钠钙钾型、钠钾型、钠钙铅型、钠钾钙型，计40件标本。其中主要是 $Na_2O-CaO-SiO_2$ 型和 $Na_2O-CaO-K_2O-SiO_2$ 型，计23件，占此期此系标本的57.5%。

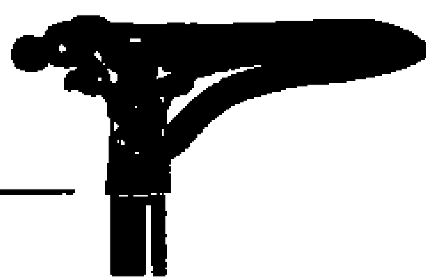
此钠系始见于春秋晚期，并一直延续了下来。前4系玻璃大体上都是本国所产的，此系的产地则各有不同。我们认为，春秋晚期至战国的7件标本，即春秋晚期侯古堆1件、战国早期曾侯乙墓2件、江陵九店2件、战国二里岗1件、战国平山1件，皆系本国所产。汉至明代的此型标本，除唐李泰墓绿色玻璃瓶等外，大部分应是外来的。但值得注意的是：（1）此玻璃系分类讨论，主要是以部分科学分析为依据的，并未参照有关记载，故这只反映了各系、各型玻璃发展的一个概貌。（2）从《南州异物志》和《抱朴子·内篇》卷二的记载看，三国时期至东晋时期，交广一带生产过钠钙玻璃是肯定的，也不能排除在三国之后仍有生产的可能性。（3）我国接触和利用盆硝的时间较早，而人们又常把盆硝与硝石相混，故在漫长的岁月中，人们用它生产过钾钙玻璃，及至有意无意地生产过钠钙玻璃都是可能的，即汉代之后，我国实际生产的钠钙玻璃当不止李泰墓绿色玻璃瓶等少数器件，也不止唐代一个历史时期。

（三）关于我国古代玻璃成分分布的几个特点

1. 我国古代玻璃的主要体系是铅钡系、铅系、钾系。前者在先秦、两汉时期曾盛极一时，汉后未曾再现；钾系和铅系皆始于战国，忽强忽弱，一直沿用到了明、清。钾系玻璃在许多时代都占有较大的比重。钠钙玻璃虽也出现较早，时断时续，大体上是清代晚期才稳定地发展起来的。

2. 我国古代玻璃体系的发展经历了“多—少—多”的变化过程。先秦玻璃的成分体系和类型较多，秦、汉有所减少，由唐、宋至明更少一些，清代忽又增多起来。新疆西周至春秋早期5件标本，分属2系5型；中原春秋晚期3件标本，分属3系3型；战国43件标本，分属5系13型。秦、汉65件标本才分属4系11型。魏晋南北朝皆钠钙玻璃，皆是外域标本。隋、唐减少到3系8型，宋、辽只有2系6型，明代只有2系7型；清代却达4系10型。这说明，先秦是玻璃体系的探索期，之后便是相对稳定期，及清，人们又力图进行新的探索。但清代占主导地位的依然是钾玻璃，钾系有7件标本，占去此期标本总数（13件）的53.85%。

3. 我国古代玻璃技术应是独自发明出来的，不管新疆地区还是中原文化区都是如此。但外来影响也十分明显，从先秦到明、清，一直未曾中断。这种影响主要表现在两方面：一是不少西方玻璃输入了中国，这在考古发掘中都可看到；二是某些烧制和成型技术可能也随之传入了中国，一般认为，吹制法很可能是外域传入的。但同时还有一个值得注意的现象是：在相当长一个时期内，西方玻璃的原料配比对中国并无太大影响，由先秦到清代中期，中原玻璃技术的基本体系依然是钾系、高铅系，国产钠钙玻璃较少。这说明，虽外来影响既强烈且持久，但



我国古代的玻璃技术，基本上是就地取材，利用自身资源发展起来的。

4. 我国古代玻璃技术发展十分缓慢，相当长一个时期都停留在钾玻璃和铅玻璃的范围。看来其原因主要有二：一是我国陶瓷技术十分发达，其产量、质量、品种和艺术水平，都达到了十分完美的程度，而社会对玻璃器皿并无急切的需要；二是在当时技术条件下，缺少充足的钠钙玻璃的原料。

以上讨论是以考古实物科学分析为基础的，它从一个方面反映了我国古代玻璃技术发展的实际情况。但此分析数据仍有一定局限：一是标本数还不是太多；二是标本的采集具有一定的随机性。若能与文献记载结合起来，就会更加全面一些。一般而言，上述玻璃的五个大“系”，多数应是人们有意识地生产的，少数则可能是无意间得到的。

民国玻璃 3 件，其中铅系 2 型 2 件，钠系 1 型 1 件，总体上看仍是沿袭清代的传统，因标本量较少，不便深入讨论。

**四、清代玻璃加工技术**

清代玻璃加工引入了一些西方人才和技术，设立了皇家玻璃厂，在成分配置、烧造和成型技术上，都有了明显的进步。此期不但生产了一些艺术玻璃，使玻璃的花色、品种都有了较大增长，一定程度上满足了社会的需要。同时，更为重要的是，还生产了部分光学玻璃和日用玻璃器。

（一）吹制和范铸

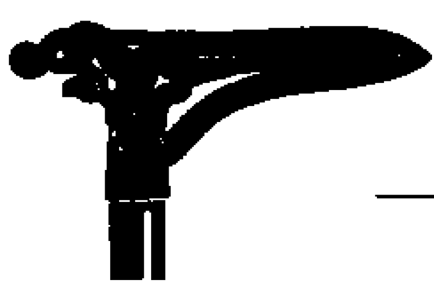
郑复光《镜镜诗痴》卷一“镜质”条载：玻璃由“火化吹成，故多泡多纹不能砥平，更有玻璃差是其所短。惟红毛玻璃坚厚少疵，但质愈厚玻璃差愈大耳”。“予亲见张明益熔玻璃于铁管一端，其一端套木，嘴含而吹之成泡。欲作管则火而长之，欲作方则火而范之”。这里谈到了玻璃管等的吹制和方形器等范铸的情况。

（二）平板玻璃

虽汉代便生产过一些玻璃小板，但大型玻璃板技术当是明、清之后才由西方传入的，有学者认为其始于广州、重庆，北京等地也能生产[20]。王侃《江州笔谭》卷下曾简单地谈到过重庆生产平板玻璃的情况：“琉璃玻瓈，皆冶石汁入药为之。”“本朝二百年来，唯广州人能之。今前后来重庆支炉者三家，盖巴峡中有矿可采，故竞来相就，而此物由是价贱蜀中矣。昨偕友人往观，见炉炽，石瓮通红，瓮身欹侧其口，外向深二尺余，消冶石粉，如金之在熔。匠者力持四尺铁管，挑起如饧，旋转其管裹之，急以拍扳（板）相规。再入火中，移时，自管端吹，使微空。复挑复裹，视其加大如茄。持登木架，俯向地坑中，手转口吹，渐长二尺余，大过合抱。既冷，赤色转绿，光明透澈可爱。脱其管，以金刚（石）划开，有若瓦解。承以大土坯，入别炉烘之，则渐展平，以作镜屏各物，随料取用。向其火候，盖三昼夜乃能熔化也。”[21]这是我国今见文献中，关于平板玻璃工艺的最早记载。基本操作是：先吹制玻璃管，之后再划开、展平。

（三）透明玻璃及其加工

“透明”玻璃，清郑复光谓之“通光”玻璃，主要包括普通光学玻璃和日用玻璃两种。《镜镜诗痴》卷一“原镜”条载：“通光镜，其质四，曰烧料、曰玻璃、曰水晶、曰玻瓈纸。其色五，曰五色玻瓈，曰五色晶，曰熏黑玻璃。其形十一，





曰平、曰凸、曰凹、曰方、曰三稜、曰多面（如多宝镜之属）、曰空球（如金鱼缸之属）、曰实球、曰空管（如寒暑表之属）、曰实管（如料丝灯之属）、曰水筋管（如水法条是也）。”此“烧料”、“玻璃”，当皆为现今意义的玻璃，但此两个名称有何区别，则不太明白。“水晶，为天生玉石之类”，“玻璃纸，为天生云母之属”，这在同卷“镜质”条已有说明。此“玻璃纸”、“玻瓈纸”为两种写法，在同书同卷内是并存的。这里谈到了透明玻璃等的不同色态和器形，其中相当部分可作光学玻璃。我国古代科学家对光学的研究至迟始于战国时期，众所周知，《墨经》中便记载了大量的光学实验资料，当时所用之镜，自然主要是铜镜。由这段文献可知，至迟清代晚期，我国便生产了第一批光学玻璃，并将之用到了实验中。其中的不同器形，自然也包含了不同的加工工艺。

同卷“镜质”条在谈到玻璃料选择时说：“料色混，玻璃有纹、有泡；水晶有绵之类，生质之疵也。平镜不平，凹凸不圆，则光线相拗。磨砻草率，则镜光未莹，形质之疵也。”在谈到进口原料时说：“洋料，佳者明净，殊胜。博山料佳者亦明净。”由这些情况看，光学实验用玻璃，以洋料为佳，但博山料佳者亦明净，说明博山料也制作过部分光学实验用玻璃。

同书卷一“镜色”条在说到观察日蚀时说：“视日食，无黑玻璃则用熏黑玻璃视之，日光虽盛，绝不射目。”此说到了对玻璃作最为简单的加工，以进行天文观察。

（四）复色玻璃。这是通过某种机械方式，使两种或两种以上彩色玻璃结合在一个器物上。如点彩，是以一种玻璃作地，捺压色彩玻璃斑点成块状。如夹金，是黑或蓝地洒金，外套透明玻璃。又如夹彩，则是涅白地捺金星、绿、蓝三色斑，外套浅绿透明玻璃。此多见于乾隆时期[8]。

（五）套料。又叫套玻璃，是由两种以上的玻璃制成的器物，这是清代玻璃加工技术的一项创新。具体操作有二：（1）在玻璃胎上满套另一颜色的玻璃，再在外层玻璃上雕饰花纹。（2）将加热至半熔的色料棒直接在胎上做出花纹。此二法均能显示凸雕效果[2]。赵之谦《勇庐闲诘》载：“时（康乾之世）天下大定，万物殷富，工执艺事，咸求修尚。于是列素点绚，以文成章，更创新制，谓之曰套。套者，白受彩也，先为之质曰地，地则玻璃、砗磲、珍珠，其后尚明，玻璃微白，色若凝脂，或若霏雪，曰藕粉。套之色有红有蓝，更有兼套，曰二彩、三彩、四彩、五彩或重叠套，雕镂精绝。康熙中所制浑朴简古，光照艳烂若异宝。乾隆以后，巧匠刻画……细入毫发，扪之有棱。”[22]

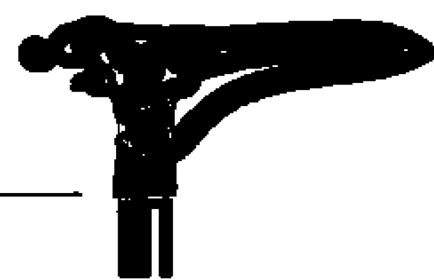
（六）搅胎玻璃

在考古发掘中，最早的搅胎玻璃始见于东汉，其当系外域传来，此后再未看到。在现有资料中，国产搅胎玻璃的实物约始见于清，多见于乾隆时期。约有两种不同操作：（1）一色深浅搅料，如藕荷色绞料、玫瑰紫绞料、深粉绿绞料。（2）多色绞料，如涅白地绞绿、鲜红地绞黄、宝蓝地绞白、豌豆黄地绞深红、浅绿[8]。

此外，清代玻璃还增添了多项艺术加工，如雕刻、描彩、描金、珐琅彩等。

**五、关于“料器”**

近人常称玻璃为“料器”，对这一名称的由来，目前还不是十分明晰。有学者



认为：北京玻璃俗称为“料器”，是山东玻璃料制品的省略语，也是博山大炉匠的行话，被商界接受后传至北京，并沿用至今。同时，说从清代晚期到民国年间，北京玻璃器皿的原料皆来自博山。言下之意，即将玻璃制品称之为“料器”之事应属清代晚期至民国间，始于匠师，传于商家，流于世俗、学人。这些说法有一定道理，但犹言未尽，似还存在一些语言背景，今再从文献上试作一些补充。

（一）关于料器一名之蠡测

在“料器”一词中，“料”自然是“原料”、“材料”、“物料”之意，人们对它的使用是既早且广的。唐高适《高常侍集》三“留别郑三韦九兼洛下诸公”诗：“羁旅虽同白社游，诗书已作青云料。”[23]此青云料，指青云的原料，说诗书已化作了青云。当然，“料”字的这种简用之法，可能更早便已出现；将玻璃料简称为“料”之事，至迟亦始于明代晚期。前引《颜山杂记》卷二说，明末孙延寿每晨起来“检料”，其中的“料”，自然是指初烧而得的玻璃、琉璃料块。清代晚期，将玻璃料简称为“料”的记载便多了起来。如前引《镜镜诊痴》（1846 年）卷一“镜质”条说到过“料色”、“洋料”、“博山料”，显然这都是指玻璃说的。

但“料”与“料器”是不能等同的。一般器物皆以物料、材料、原料制成，为何人们只把玻璃器简称为“料器”？这却是值得思索的。管窥蠡测，笔者认为其原因至少有二：（1）因玻璃自古便是仿玉之作，故其制品独得上层人士青睐。（2）“料器”之名，很可能还与“烧料”所成之器有关。自古以来，人们便认为玻璃乃烧石而成，清时又出现了“烧料”一词。前引《镜镜诊痴》卷一“镜原”条便用到了“烧料”一名，此名是很有讲究的，在诸多关于古代玻璃、琉璃的术语中，这是概括性较强的一个。烧料所成之器，称之为料器，便是顺理成章的事。

在文献记载中，“料器”一词可能出现较晚。《光绪三十三年重庆口华洋贸易情形论略》载：“此项（复进口）料器短少之处，因本省（四川）玻璃厂仿造抵制所致。料灯筒、料灯并各项料器，近来四川省现有数州县，亦能制造也。”[24]可知在19 世纪末至 20 世纪初，官方已使用这一词语。民间使用这一词语的时间则可能稍早一些。

进入 20 世纪后，“料器”一词便更多地使用起来。赵汝珍《古玩指南》（1944 年）第二十二章“料器”说：“‘料’者，今之玻璃也。凡玻璃制器，以前皆曰料器；即现在仍多以料器称也，如以玻璃制之烟壶嘴，皆曰料壶料嘴，绝没有称玻璃壶玻璃嘴者。”赵汝珍说的“以前”，至少应是清代末年。

（二）关于“料丝”

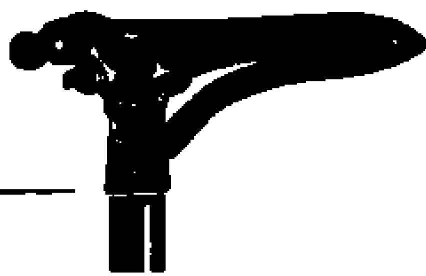
在讨论料器一词时，还有一件值得注意的事：即至迟元、明时期，还出现过“料丝”一词，料丝也是一种人工烧制物，且亦是一种以硅酸盐为基的非晶态物质，或者还包括部分晶态物质。看来，在语言结构上，与“料器”相似的名称并非个别现象。这对我们了解“料器”一称的来由也有一定帮助。

明郎瑛《七修类稿》卷四四“事物类·料丝”载：“料丝灯出于滇南，以金齿卫者胜也，用玛瑙、紫石英诸药捣为屑，煮腐如粉，然必市北方天花菜点之方凝。而后缫之为丝，织如绢状，上绘人物山水，极晶莹可爱。价亦珍贵，盖以煮料成丝，故为之料丝。阁老李西涯以为‘缭丝’书之于册，一时之误耳。”[25]可见此

“料”原由玛瑙、紫石英诸物烧成。煮料成丝，故为料丝。玛瑙，由含有不同杂质的各种 $SiO_2$ 胶体溶液，分期沿岩石空隙的壁向内逐渐沉积而成。紫石英即紫水晶，化学式亦为 $SiO_2$。若所记不误的话，以此二物为基本原料，加药烧成后，此料丝便应是一种含 $SiO_2$ 较高的玻璃类制品。但此二者都是较为名贵的宝石，这种工艺纵然存在，其成本也是很高的，使用量当亦较少，并不能成为“料”器的主流产品。

明末清初王夫之（1619～1692年）《薑斋文集》卷九“杂物赞·料丝灯”也说到过料丝灯：“烧药石为之，六方合成；外加丝，内如屏，花卉虫鸟，五采斯备。然灯其中，尤为绮丽。”[26]此说得较为简单，未说到料丝灯的原料和制法。估计与上述相类同。

清代中期赵翼（1727～1814年）《陔余考丛》卷三三“料丝”条所说与明郎瑛所述大体一致，有的地方更为具体：“料丝灯，见李西涯诗。而诗用‘缭丝’字，郎瑛谓误也。料丝出于滇南，以金齿卫者为胜，用玛瑙、紫石英诸药捣为屑，煮腐如粉，必市天花菜点之方凝。然后取以为丝，极晶莹可爱。盖以煮料成丝，故名料丝耳……此物前明时仅出于滇也……然则料丝在元时已有之，今之为料丝者，不必用玛瑙等石，但以糯米和药煮耳，其色亦复不减。”[27]赵翼也说到了用玛瑙、紫石英诸药煮炼成的料丝，还认为此“料丝”的发明期可上推到元，并说清代中期创造了一种用糯米和药煮制的制料法，可惜具体工艺不详。



# 参 考 文 献

## 第一节 采矿技术

[1] 董含：《三冈识略》卷一。

[2]（乾隆）《震泽县志》卷二五。

[3] 顾公燮：《消夏闲记摘抄·平定姑苏始末》。

[4]（浪穹）王崧《矿厂采炼篇》，见吴其濬《滇南矿厂图略》附。见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（一），河南教育出版社，1993年。

[5] 檀萃：《滇海虞衡志》（嘉庆己未成书）卷二"志金石"引。《丛书集成初编》3023。

[6] 清田雯：《黔书》卷四，《丛书集成初编》3183。

[7] 清张泓：《滇南新语》，《丛书集成初编》3142。

[8] 吴其濬：《滇南矿厂图略·滇矿图略上·硐之器第三》。见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（一），河南教育出版社，1993年。本书所用《滇南矿厂图略》，及其收录的《矿厂采炼篇》、《采铜炼铜记》皆此版本。下节不再说明。

[9] 新雨：《中国古代对煤的认识和应用》，《科技史文集》第9辑，上海科学技术出版社，1982年。

[10] 清赵翼：《簷曝杂记》，《续修四库全书》1138，上海古籍出版社，2002年。

[11] 吴天颖：《中国井盐开发史二、三事——"中国科学技术史"补正》，见《中国盐业史论丛》，中国社会科学出版社，1987年。

[12] 丁宝桢、菘蕃、唐炯等：《四川盐法志》，刊于光绪八年（1882年）。今见《续修四库全书》第842册。其卷二为"井盐图说"，包括"凿井"、"汲井"、"煮井"、"发运"四项。卷三为"器具图说"，介绍诸器具的结构、尺寸、功用。

[13] 刘德林、周志征：《中国古代井盐工具研究》第50页、第138～141页，山东科学技术出版社，1990年。

[14] 林元雄等：《中国井盐科技史》第204～205页，四川科学技术出版社，1987年。

[15] 白广美：《中国古代盐井考》，《中国盐业史论丛》，中国社会科学出版社，1987年。

[16] 严如熤（1759～1826年）：《三省边防备览》卷一〇，《续修四库全书》732，上海古籍出版社，2002年。

[17] 清李榕：《自流井记》，《十三峰书屋文稿》卷一，光绪壬辰年（1892年）刊本。

[18] 同治富顺县令吴鼎立：《自流井风物名实说》，《（同治）富顺县志》卷三〇第13页之后全文引述。关于"自流井"一名的来源，该书说："相传井水自然流出，非人力錾凿"。

[19] 吕长生：《清代云南井盐生产的历史画卷》，《中国历史博物馆馆刊》1983年第5期。

[20] 朱霞：《从〈滇南盐法图〉看云南少数民族的井盐生产》，《自然科学史研究》2004年第2期。

[21]《四川盐法志》卷三"器具图说"引《自流井风物名实说》。

[22] 刘德林、周志征：《中国古代井盐工具研究》第111～112页，山东科学技术出版社，1990年。

[23] 矩斋：《古尺考》，《文物参考资料》1957年第3期。

[24] 林元雄等：《中国井盐科技史》第211页，四川科学技术出版社，1987年。关于燊海

井的原文为："联合国教科文组织《博物馆》杂志 1980 年第 4 期上曾这样介绍道，1835 年燊海井钻凿成功，深达 1000.42 米，这是中国当时深井的最高记录，也是 19 世纪中叶前世界深井钻井记录。" 此当为洋人当年的调查数字。今虽未能查核原文，当属可信，此前严如熤便说盐井深度可达三四百丈，有的可能超过了千米。

[25]〔德国〕汉斯·乌尔利希·福格尔：《四川深钻井技术传播到西方的真相和争议》，《中国盐业史国际学术讨论会论文集》第 39 页，四川人民出版社，1991 年。该文载："1835 年，世界上第一口超千米深井——燊海井在自流井（自贡市）钻成。"

[26] 福格尔的话见文献 [25]，第 41 页。林元雄的原话见文献 [14]，第 3 页。

[27] 清王培荀：《听雨楼随笔》卷六，《续修四库全书》1180－391，上海古籍出版社，2002 年。

[28] 清杜应芳等：《补续全蜀秇文志》，《续修四库全书》1677－539，上海古籍出版社，2002 年。

## 第二节 金属冶炼和加工技术

[1] 广东省博物馆：《广东罗定古冶铁炉遗址调查简报》，《文物》1985 年第 12 期。

[2] 转引自彭泽益：《中国近代手工业史资料》（1840～1949）第一卷第 315 页，三联书店，1957 年。

[3] 丁格兰：《中国铁矿志》第二篇（《地质专报》甲种第二号）。谢家荣译。农商部调查研究所印行，民国十二年。

[4] 杨宽：《中国土法冶铁炼钢技术发展简史》第 186 页、第 194～197 页、第 205 页，上海人民出版社，1960 年。

[5] 石心圃：《中国古代冶金》，《北京钢铁工业学院第一次科学研究及教学法讨论汇集》，1956 年。

[6] 何堂坤：《关于灌钢的几个问题》，《科技史文集》第 15 辑，上海科学技术出版社，1989 年。何堂坤：《我国古代炼钢技术初论》，《科技史文集》第 14 辑，上海科学技术出版社，1985 年。

[7] 周志宏：《中国早期钢铁冶炼技术上创造性的成就》，《科学通报》1955 年第 2 期。

[8] 张九皋：《芜湖手工炼钢业的片断史料》，《安徽史学通讯》1958 年第 1 期。张九皋：《濮家与芜钢》，《安徽史学通讯》1959 年第 3 期。

[9] Joseph Needham, The Development of Iron and Steel Technolgy in China. p. 26, 1958.

[10] 吉田光邦：《天工開物の製錬·鑄造技術》，载藪内清主编《天工開物の研究》，恒星出版社，東京，昭和三十年。

[11] 藪内清：《中國古代の科學》第 51 页，角川新书，昭和三十九年。

[12] 张子高：《中国化学史稿（古代之部）》第 34 页、第 101 页，科学出版社，1964 年。

[13] 陈良佐：《我国炼钢史上的一个问题》，《大陆杂志》第 49 卷第 6 期，1974 年。

[14] 何堂坤：《关于明代炼钢术的两个问题》，《自然科学史研究》1988 年第 1 期。

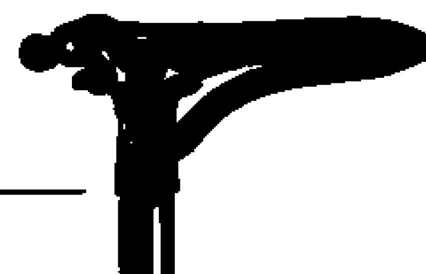
[15] 柯俊等：《中国古代的百炼钢》，《自然科学史研究》1984 年第 1 期。

[16] 李众：《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》，《考古学报》1975 年第 2 期。

[17] 黄展岳等：《云南土法炼铁的调查》，《考古》1962 年第 7 期。

[18] 何堂坤：《百炼钢及其工艺》，《科技史文集》第 13 辑，上海科学技术出版社，1985 年。

[19] 本間顺治：《日本刀》第 34～36 页，岩波书店，昭和十四年。





[20] 长沙窑课题组编：《长沙窑》第115～116页，紫禁城出版社，1996年。

[21] 何堂坤：《中国古代铜镜的技术研究》第39页，紫禁城出版社，1999年再版。

[22] 吴坤仪：《明清梵钟的技术分析》，《自然科学史研究》1988年第3期。

[23] 近重真澄：《東洋古銅器の化學的研究》，《史林》第三卷第二號，1918年。

[24] 乾隆十二年奉敕撰《钦定大清会典则例》卷一二九“工部·鼓铸”，文渊阁《钦定四库全书》抄本第94册，武汉大学出版社电子版第239碟。

[25]《清朝文献通考》卷一六“钱币考四”。

[26]（光绪）《钦定大清会典事例》卷八九〇“工部·鼓铸·鼓铸局·钱”。

[27] 于锡猷：《西康之矿产》第32页，国民经济研究所，1940年。

[28] 梅建军等：《中国古代镍白铜冶炼技术的研究》，《自然科学史研究》1989年第1期。

[29] 李春昱：《四川西康地质志》第207页，地质出版社，1959年。

[30] 转引自张资珙：《略论中国的镍质白铜和它在历史上与欧亚各国的关系》，《科学》1957年10月，第33卷第2期。

[31] 王世襄整理《清代匠作则例汇编》之“铜作”第5页，油印本，原无页号。

[32] 姚翁望：《汤天池和梁应达的铁画》，《文物参考资料》1957年第3期。

[33] 毛颖：《汤鹏“溪山烟霭园”铁画》，《中国文物报》1995年9月4日第4版。

[34] 颜昌贵：《锤笔铁墨绘丹青——安徽芜湖铁画》，《中国工艺美术》1982年第4期。

[35] 何堂坤、靳枫毅：《中国古代焊接技术初步研究》，《华夏考古》2000年第1期。

## 第三节　制瓷术的黄金时代

[1] 本书所引《陶冶图说》，均见熊寥主编《中国陶瓷古籍集成》，江西科学技术出版社，2000年。

[2] 周仁等：《景德镇瓷器的研究·清初瓷器胎釉的研究》，科学出版社，1958年。今转引自《中国古陶瓷研究论文集》第24页，轻工业出版社，1983年。

[3] 陈尧成等：《历代青花瓷和着色青料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[4] 周仁等：《景德镇历代瓷器胎、釉和烧制工艺的研究》，《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983年。原载《硅酸盐》1960年第3期。

[5] 郭演仪：《古代景德镇瓷器胎釉》，《中国陶瓷》1993年第1期。

[6] 周仁：《我国传统制瓷工艺略述》，原载《文物》1958年第2期，今引自《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983年。

[7] 郭演仪：《中国制瓷原料》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[8] 周仁等：《景德镇瓷器的研究·景德镇制瓷原料及胎、釉的研究》，科学出版社，1958年。今转引自《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983年。

[9] 周仁：《陶瓷试验场工作报告》，《中国古陶瓷研究论文集》，轻工业出版社，1983年。

[10] 张福康：《铁系高温釉综述》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。

[11] 李家治：《原始瓷的形成和发展》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985年。有关夏、商、周原始瓷釉的出土情况和具体成分，详见本书表2－3－2。

[12] 中国硅酸盐学会：《中国陶瓷史》第419页，文物出版社，1982年。

[13]《中国古陶瓷研究论文集》第79～86页，轻工业出版社，1983年。

[14]《中国古代陶瓷科学技术成就》第 327 页，上海科学技术出版社，1985 年。也有学者认为钴土矿中各氧化物是不易分开的，淘洗和分级对氧化钴的富集作用都不明显（文献 [2]，第 83 页）。

[15] 陈尧成等：《景德镇元明清青花的着色和显微结构特征》，《中国陶瓷》1981 年第 2 期。

[16] 张福康等：《我国古代釉上彩的研究》，《硅酸盐学报》1980 年第 4 期。

[17] 张福康等：《中国历代低温色釉的研究》，《硅酸盐学报》1980 年第 1 期。

[18] 张福康：《中国传统低温色釉和釉上彩》，《中国古代陶瓷科学技术成就》，上海科学技术出版社，1985 年。

[19] 叶喆民：《中国古代陶瓷科学浅说》，轻工业出版社，1960 年。

[20] 原出自 M. Ebelmen and M. Solvetat，《Annales de Chimie et de Physique》，3e Serie，Tome xxxv 312 ~ 365（1852）. 今转引自文献 [16]。

[21] 杨文宪：《古代窑炉与铜红釉》，《中国陶瓷》1985 年第 1 期。

[22] 中国硅酸盐学会：《中国陶瓷史》第 432 ~ 437 页，文物出版社，1982 年。

[23] 刘振群：《窑炉的改进和我国古陶瓷发展的关系》，《中国古陶瓷论文集》，文物出版社，1982 年。

## 第四节　机械技术的发展

[1] Joseph Needham，Science and Civilisation in China、Vol. 4，PartII，fig. 688 Cambridge University Press，1965。

[2] 乌程周庆云：《盐法通志》卷三六，第 14 页，民国十七年，鸿宝斋排印。文中说水桶“长二三丈不等，宽一尺余”，详情不明。后文的“水桶”条说：“水桶，木制，高一尺六寸，直径一尺三寸，用以盛卤或水，以便搬运。”

[3] 陈立：《为什么风力没有在华北普遍利用——渤海海滨风车调查报告》，《科学通讯》第 2 卷第 3 期，1951 年。

[4] 易颖琦、陆敬严：《中国古代立轴式大风车的考证与复原》，《农业考古》1992 年第 3 期。

[5] 陆敬严、华觉明主编：《中国科学技术史 · 机械卷》第 91 ~ 92 页、第 258 ~ 266 页，科学出版社，2000 年。

## 第五节　纺织技术的发展

[1]《皇朝经世文编》卷三七引。

[2]《吴兴蚕书》，清嘉庆（1796 ~ 1820 年）间归安人高铨著，光绪十六年（1890 年）四川人刊刻。今转引自文献 [4] 第 3 页。

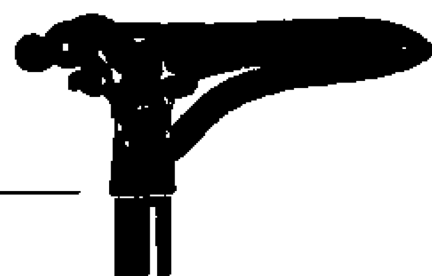
[3]《广蚕桑说辑补》，清沈练著，仲昴庭辑补，农业出版社，1960 年。参见郑辟疆 1959 年校注序、宗源瀚光绪三年序。

[4] 章楷、余秀茹：《中国古代养蚕技术史料选编》第 182 页，农业出版社，1985 年。

[5] 于云傲：《孙廷铨与〈山蚕说〉》，《丝绸史研究》1986 年第 3 期。《山蚕说》原无标题，系他人或孙氏后加。《南征纪策》国家图书馆有藏本，今引自文献 [5]。

[6] 华德公：《人工放养柞蚕以鲁中南山区为早》，《丝绸史研究》1987 年 1、2 合期。

[7] 陈宏谋：《巡历乡村兴除事宜檄》，《皇朝经世文编》卷二八。



[8] 吴振棫：《黔语》卷下，咸丰四刻本，书名为俞樾所题。

[9]《蚕桑萃编》卷四，《四库未收书辑刊》肆辑 23-614，北京出版社，1997 年（前言）。

[10]《湖蚕述》第 61 页，中华书局，1956 年。

[11] 引自道光二十年《南浔镇志》。

[12] 朱从亮、黄志昌：《辑里丝经的起源初考》，《丝绸史研究》1988 年第 1 期。

[13]《广蚕桑说辑补》，第 42 页，清沈练著，仲昴庭辑补，农业出版社，1960 年。参见郑辟疆 1959 年校注序、宗源瀚光绪三年序。

[14] 金远：《我国古代制丝用水之初探》，《中国丝绸史学术讨论会论文汇编》，浙江丝绸工学院丝绸史研究室编辑，1984 年。

[15]（嘉庆）《松江府志》，《续修四库全书》"史部·地理类"第 687 册，上海古籍出版社，2002 年。

[16]《蚕桑萃编》卷一一，《四库未收书辑刊》肆辑 23-700、23-698。

[17]《蚕桑萃编》卷五，《四库未收书辑刊》肆辑 23-632、23-634。

[18] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 191 页，科学出版社，1984 年。

[19] 赵承泽主编：《中国科学技术史·纺织卷》第 181 页，科学出版社，2002 年。

[20] 杨屾：《豳风广义》（《中国古农书丛刊蚕桑之部》），农业出版社，1960 年。并见陕西通志馆印《关中丛书》本。

[21] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 216 页，科学出版社，1984 年。

[22] 卫杰：《蚕桑萃编》（光绪二十三年），中华书局，1956 年。

[23] 原出"大清会典"，今引自《钦定古今图书集成·考工典型·织工部》。

[24]（光绪）《钦定大清会典事例》卷一一九〇"内务府·库藏"。

[25] 陈作霖：《金陵物产风土志》卷一五。

[26] 陈作霖：《凤麓小志》卷三。

[27] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 294 页，科学出版社，1984 年。

[28] 韩连芬等：《维吾尔民间印花布图案集》，新疆人民出版社，1981 年。

[29] 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史（古代部分）》第 271 页，科学出版社，1984 年。

[30] 褚华：《木棉谱》，《续修四库全书》977—127，上海古籍出版社，2002 年。

[31]（道光）《苏州府志》卷一七。

[32]（光绪）《续纂江宁府志》卷一一。

[33] 徐仲杰：《南京云锦史》第 50~51 页，江苏科学技术出版社，1986 年。

[34] 沈宛：《〈南京云锦史〉评介》，《丝绸史研究》1987 年第 3 期。

[35] 甘熙：《白下琐言》卷八，第 15 页，丙寅年（1926 年）江宁甘氏重刻本。

[36] 李仁辅：《中国古代纺织史稿》第 268~270 页，岳麓书社，1983 年。

[37] 原出自 The Chinese Repositry, vol. ll, NO. 10, Feb. 1833 年。转引自彭泽益《中国近代手工业史资料》(1840~1949)第一卷第 247 页，三联书店，1957 年。

[38]《广东新语》卷一五"货语·葛布"，第 424~425 页，清代史料笔记丛刊，中华书局，1985 年。

## 第六节　造纸技术

[1]（乾隆）《梧州府志》，（光绪）《容县志》，皆转引自彭泽益《中国近代手工业史资料》(1840~1949) 第一卷第 261 页，三联书店，1957 年。

[2] 卢坤：《秦疆治略》（成书于 1824 年前后）：岐山县，见第 42 页；宝鸡县，见第 43 页；

定远厅，见第49页；西乡县，见第45页；安康县，见第59页；砖坪厅，见第61页；紫阳县，见第65页；商南县，见第23页；孝义县，见第1页。今皆转引自彭泽益《中国近代手工业史资料》（1840～1949）第一卷第261～263页，三联书店，1957年。

[3]（道光）《略阳县志》卷四，第55页。今转引自彭泽益《中国近代手工业史资料》（1840～1949）第一卷第263页，三联书店，1957年。

[4] 清严如熤：《三省边防备览》卷九"山货"，《续修四库全书》732册第266～270页，上海古籍出版社，2002年。

[5] 胡韫玉：《纸说》，原载《朴学斋丛刊》（第三册），民国十二年；今见胡朴安编《朴学斋丛书》第二集第八册，绿色封面，泾县胡化刊，1941年。

[6] 戴家璋：《中国造纸技术简史》第231～233页，中国轻工业出版社，1994年。

[7] 清邹炳泰：《午风堂丛谈》，《续修四库全书》1462－243，上海古籍出版社，2002年。

[8] 清沈初：《西清笔记》，《笔记小说大观》第二十四册，江苏广陵古籍刻印社，1983年。

[9] 曹天生：《中国宣纸》第43页，中国轻工业出版社，2000年。

[10]《明史》卷四〇"地理志"，二十五史本，第7883页。

[11]《清史稿》卷五九"地理志"，二十五史本，第9083页。

[12] 吴振棫(1792～1871年)《养吉斋丛录》卷二六(约1871年)，《续修四库全书》1158－486，上海古籍出版社，2002年。

[13]（雍正十年）《江西通志》（第二十四册）卷二七"土产·广信府·纸"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第228碟。

[14]（乾隆二年）《福建通志》（第十三册）卷一一"物产·建宁府"。

[15]（道光）《广西通志》（第十九册）卷三一"物产"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第231碟。

[16]（雍正十三年）《陕西通志》（第四十一册）卷四三"物产·纸"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第232碟。

[17]（雍正）《湖广通志》（第十四册）卷一八"物产附"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第230碟。

[18] 戴家璋：《中国造纸技术简史》第237～240页，中国轻工业出版社，1994年。

[19]（雍正十二年）《山西通志》（第三十九册）卷四七"物产·平阳府"，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第231碟。

[20]（雍正十三年）《浙江通志》（第五十四册）卷一〇四"物产·绍兴府"："草纸，《山阴县志》，南池以草为之。"文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第229碟。

[21] 黄兴三：《造纸说》，为民国杨钟羲《雪桥诗话续集》（1917年）卷五（线装《求恕斋丛书》本，卷内第39～40页）所收。原文未曾独刊，亦不知此文原名为何，今人且以《造纸说》名之。

[22]《蝶阶外史》卷四，《笔记小说大观》第十七册，广陵古籍刻印社，1983年。

[23] 潘吉星：《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第251页，科学出版社，1998年。

[24] 荣元恺：《关于泾县宣纸名称起源与发展浅见》，《纸史研究》总第10期，1992年。

[25] 王诗文：《中国传统手工纸事典》第152～160页，财团法人树火纪念纸文化基金会，台北市，2001年。

## 第七节 印刷技术的发展

[1] 于敏中：《钦定日下旧闻考》（第三十册）卷七一（第24页），文渊阁《钦定四库全

书》抄本，武汉大学出版社电子版第227碟。

[2] 张秀民:《中国印刷史》第549页，上海人民出版社，1989年。

[3] 清鲁九皋:《鲁山木先生文集·外集》卷一。

[4] 张秀民:《中国印刷史》第546~547页，上海人民出版社，1989年。

[5] 杨绳信:《中国版刻综录》第179~189页、第528页，陕西人民出版社，1987年。

[6] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第412页，科学出版社，1998年。

[7] 叶德辉:《书林清话》（1911年）卷八第14页，《民国丛书》第二编第50册，上海书店，1990年，据宣统辛亥年观古堂刻本影印。

[8] 魏隐儒:《中国古籍印刷史》第179~181页，印刷工业出版社，1988年。

[9] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第436页，科学出版社，1998年。

[10] 杨绳信:《中国版刻综录》第528~532页，陕西人民出版社，1987年。

[11] 王士祯:《居易录》（第十六册）卷三四第9页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

[12] 金简:《钦定武英殿聚珍版程式》，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第244碟。

[13] 魏志刚:《〈武英殿聚珍版程式〉制印220周年》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[14] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第424~427页，科学出版社，1998年。

[15] 陶湘:《武英殿聚珍版书目》（1938年），转引自文献[13]第206页，其中经部31种、史部27种、子部33种、集部43种。

[16] 张秀民等:《中国活字印刷史》第88页，中国书籍出版社，1998年。

[17] 罗树宝:《中国古代印刷史》第246页，印刷工业出版社，1993年。

[18] 吴长元:《宸垣识略》卷三，《续修四库全书》730-343，上海古籍出版社，2002年。

[19] 白莉蓉:《清吕抚活字板印书工艺》，《文献》1992年第2期。此文计分四部分:（1）《精订纲鉴二十一史通俗演义》的成书过程。（2）该书卷二五的基本内容原文引录。（3）吕抚活字泥板印书工艺探析。（4）版本考订。吕抚工艺的原文今完全转引自此文。白莉蓉:《清吕抚活字泥版印书工艺与泥活字印书工艺之比较》，《中国印刷史学术研讨会文集》，印刷工业出版社，1996年。

[20] 李龙如:《我省发现泥活字印的书》，《湖南日报》1980年3月4日第4版。涂玉书:《胶泥活字印制的书》，《湘图通讯》1982年第1期。

[21] 魏隐儒:《中国古籍印刷史》第235~245页，印刷工业出版社，1988年。

[22]《泥版试印初编》，见《中国科学技术典籍通汇·技术卷》（一），河南教育出版社，1994年第1版。

[23] 张秀民等:《中国活字印刷史》第50~54页，中国书籍出版社，1998年。

[24] 张秉伦:《关于翟氏泥活字的制造工艺问题》，《自然科学史研究》1986年第1期。

[25] 刘云等:《翟氏泥活字制造工艺研究及泥活字印刷术模拟实验》，《文物》1990年第11期。

[26] 陶宝成:《是磁版还是磁活字版》，《江苏图书馆工作》1981年第3期。《一部珍贵的磁版印本〈周易说略〉》，《山东图书馆季刊》1984年第2期。

[27] 潘吉星:《中国科学技术史·造纸与印刷卷》第419页，科学出版社，1998年。

[28] 王士祯:《池北偶谈》，景印文渊阁《钦定四库全书》870-330，台湾版。

[29] 张秀民:《中国印刷史》第725~729页，上海人民出版社，1989年。

[30] 韩琦:《西方人研制中文活字史略》，《文献》1992年第1期。

## 第八节 火药火器技术的发展

[1]（光绪）《钦定大清会典事例》卷八九五“工部·军火·火药二”，《续修四库全书》810－803，上海古籍出版社，2002年。

[2]（光绪）《钦定大清会典事例》卷八九七“工部·军火·火药四”，《续修四库全书》810－820，上海古籍出版社，2002年。

[3]《清实录》（四）“清圣祖实录”卷四九，第640页，康熙十三年八月。

[4]黑龙江省博物馆历史部：《康熙十五年“神威无敌大将军”铜炮和雅克萨自卫反击战》，《文物》1975年第12期。炮上有满、汉两种文字：“神威无敌大将军”、“大清康熙十五年三月二日造”。炮口内径11厘米、外径27.5厘米、底径34.5厘米。

[5]《嘉庆大清会典事例》卷六八六。说明：九节十成炮，“铸以铜，前后若一，前分九节，后加底，各有螺旋，以便分负涉险，用时合成。重自七百九十斤至七百九十八斤，长自五尺一寸至六尺九寸……用药自一斤四两至一斤八两，铁子二斤八两，载以四轮车……加立表以为准，板轮不施幅”。即是说，炮身分九节，每节长短粗细相同，每节的一端有阳螺纹，另一端有阴螺纹，以便拆开行军，使用时再合在一起。载于四轮车上，炮身上有瞄准器。

[6]清嵇璜等：《钦定皇朝通典》卷七八“兵十一·皇朝礼器图式武具·火器”，《钦定四库全书》抄本第28册，武汉大学出版社电子版第241碟。

[7]王兆春：《中国科学技术史·军事技术卷》第287页（科学出版社，1998年）：机枪是后装针击式的，其弹丸呈长筒形；其在扣动扳机射出第一发子弹后，便可利用火药燃气的反冲力，推动枪管后座一段距离；并利用枪管后座的能量，完成打开枪机，退出弹壳和重装发射的整个过程。连珠火铳没有这些构造和技术条件。

[8]陈阶平：《请仿西洋制造火药疏（道光二十三年福建提督陈阶平）》，《海国图志》卷九一，《中国兵书集成》（47）第497～504页，解放军出版社等，1992年。

[9]矩斋：《古尺考》，《文物参考资料》1957年第3期。

[10]丁守存：《西洋自来火铳制法》，《海国图志》卷九一，《中国兵书集成》（47），第483～496页，解放军出版社等，1992年。

[11]龚振麟：《铸礮铁模图说》，《海国图志》卷八六，《中国兵书集成》（47）第277～304页，解放军出版社等，1992年。

[12]龚振麟：《枢机礮架新式图说》，《海国图志》卷八七，《中国兵书集成》（47）第337～339页，解放军出版社等，1992年。

[13]黄冕：《炸弹飞礮轻礮说》，《海国图志》（咸丰二年本）卷八七，《中国兵书集成》（47）第327～336页，解放军出版社等，1992年。黄冕此文已为道光二十七年（1847年）《海国图志》的60卷本收入（见其卷五五），文中又提到过“道光二十四五年间”，故此文应成于1845～1847年间。

[14]丁拱辰：《西人铸礮用礮法》，《海国图志》卷八八，《中国兵书集成》（47）第399～401页，解放军出版社等，1992年。

[15]丁拱辰：《铸礮弹法》，《海国图志》卷八六，第17～18页，《中国兵书集成》（47）第309～311页，解放军出版社等，1992年。

## 第九节 髹漆技术的发展

[1]崇璋：《造办处之作坊及匠役》，《中华周报》第二卷第十九期，第8页。转引自彭泽

益《中国近代手工业史资料》（1840～1949）第一卷第148页，三联书店，1957年。

［2］朱家溍：《清代造办处漆器制做考》，《故宫博物院院刊》1989年第3期。关于清代《各作清档》的原始资料转引于此。

［3］朱家溍：《清雍正年的漆器制造考》，《故宫博物院院刊》1988年第3期。关于清代《各作清档》的原始资料转引于此。

［4］《中国工艺美术全集》“工艺美术篇8·漆器”，文物出版社，1989年。

［5］张燕：《晚清扬州漆器艺人卢葵生作品闻见录》，《故宫博物院院刊》1992年第1期。

［6］田雯：《黔书》卷下“革器”，附于《古欢堂集》第十四册卷三九第35页、第36页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第427碟。

［7］《髹饰录解说》，文物出版社，1989年。朱桂辛关于毕节皮胎处理工艺，转引自168页。

［8］《髹饰录解说》，文物出版社，1989年，王世襄解说。第95页：“现在广东及山西还在制造”皮胎漆器。第97页：过去北京古董店中偶尔看到一种“黑质红细文”的填彩器，即皮胎黑漆，划纹很细，填色漆（以朱色为主），它种漆器在贵州和山西两地都有生产。第98页：1957年秋，山西皮胎雕填漆器曾在全国工艺品展览会上展出。第168页：广东阳江亦产皮胎漆器，且“县志”上早有记载。

［9］《髹饰录解说》，文物出版社，1989年，第168页。此系朱桂辛转告王世襄的资料。

［10］《髹饰录解说》，文物出版社，1989年，第168页，王世襄解说。

［11］宋兆麟：《凉山彝族的漆器制作工艺》，《中国历史博物馆馆刊》1996年第1期。

［12］扬州市博物馆：《江苏邗江姚庄101号西汉墓》，《文物》1988年第2期。

［13］清顾广圻：《思适斋集》卷五“漆沙砚记”。《续修四库全书》1491－50，上海古籍出版社，2002年。顾广圻，字千里。

［14］王世襄、袁荃猷：《扬州名漆工卢葵生和他的一些作品》，《文物参考资料》1957年第7期。

［15］张燕：《晚清髹漆艺人卢葵生及其艺术成就》，《故宫博物院院刊》1989年第4期。

［16］《髹饰录解说》，文物出版社，1989年，第86页，王世襄解说。

［17］沈福文：《漆器工艺技术资料简要》，《文物参考资料》1957年第7期。

［18］明高濂：《遵生八笺》（第十三册）卷一四（第75页）“燕闲清赏上·论剔红倭漆雕刻镶嵌器皿”，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第318碟。

## 第十节　玻璃技术的发展

［1］E. B. 库尔提斯：《清朝的玻璃制造与耶稣会士在蚕池口的作坊》，《故宫博物院院刊》2003年第1期。米辰峰译。

［2］张荣：《清雍正朝的官造玻璃器》，《故宫博物院院刊》2003年第1期。

［3］《钦定大清会典事例》，台北新文丰出版公司，1976年，依光绪二十五年本影印。

［4］清于敏中等编：《钦定日下旧闻考》，文渊阁《钦定四库全书》抄本第69册第28页，武汉大学出版社电子版第227碟。

［5］《白雪圣石经》，收于《道藏》的《铅汞甲庚至宝集成》卷四（见涵芬楼影印本第595册）。

［6］杨伯达：《清代玻璃配方化学成分的研究》，《故宫博物院院刊》1990年第2期。

［7］鄂尔泰、张廷玉等：《清实录》“世宗宪皇帝实录”（二）卷九九，雍正八年十月。

［8］杨伯达：《清代玻璃概述》，《故宫博物院院刊》1983年第4期。

[9]《清内务府养心殿造办处各作成做活计清档》雍正六年，编号3313，中国第一历史档案馆。今转引自文献[6]。

[10]《清内务府养心殿造办处各作成做活计清档》乾隆二十一年，编号3475，中国第一历史档案馆。今转引自文献[8]。

[11] 清梁同书:《古铜瓷器考》,《美术丛书》(五)。

[12] 美国康宁玻璃公司R. H. Brill等:《一批早期中国玻璃的化学分析》,《中国古玻璃研究(1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集)》，中国建筑工业出版社，1986年。

[13]《清内务府养心殿造办处各作成做活计清档》乾隆十七年，编号3438，中国第一历史档案馆。今转引自文献[6]。

[14] 谢惠:《山东博山玻璃工业概况》,《交大季刊》13期1934年。

[15] 宋李诫:《营造法式》(第四册) 卷一五“窑作制度·瑠璃瓦等”(第11页)，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第224碟。

[16] 孟乃昌:《汉唐消石名实考辨》,《自然科学史研究》1983年第2期。

[17]《重修政和经史证类备用本草》卷五“玉石·蓬砂”条引。

[18]〔英〕波西尔(S. W. Bushell):《中国美术》卷下“玻璃”条，第118~119页，戴岳译，商务印书馆，1923年初版。维廉顺(Rev. A. Williamson)的《中国北部旅行日记》亦转引于此书。

[19] 清郑复光:《镜镜诗痴》,《丛书集成初编》1340。本书所引《镜镜诗痴》皆此版本。

[20] 程朱海:《试探我国古代玻璃的发展》,《硅酸盐学报》1981年第1期。

[21] 王侃:《巴山七种》“江州笔谭”卷下，同治乙丑(1865年)，光裕堂刊发。

[22] 赵之谦:《勇庐闲诘》,《丛书集成新编》卷四七第765页，新文丰出版公司，1985年。

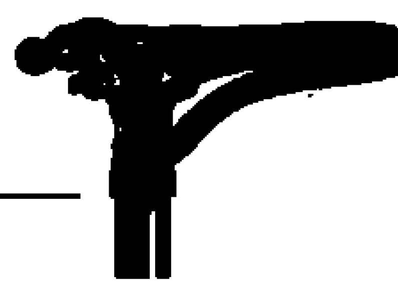
[23] 高适:《高常侍集》第一册卷三第1页，文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第402碟。

[24]《光绪三十三年重庆口华洋贸易情形论略》,《通商各关华洋贸易总册》下卷，第32页。转引自彭泽益《中国近代手工业史资料》(1840~1949)第二卷第340页，三联书店，1958年。

[25] 明郎瑛:《七修类稿》卷四四“事物类·料丝”,《续修四库全书》1123-259上，上海古籍出版社，2002年。

[26] 明末清初王夫之:《薑斋文集》卷九,《续修四库全书》1403-533，上海古籍出版社，2002年。

[27] 清赵翼:《陔余考丛》卷三三“料丝”,《续修四库全书》1152，上海古籍出版社，2002年。



# 后　记

我原主要是作冶金技术史研究的，1989～1994年，北京师范大学等单位的学者策划了一部名为《中华文明史》的大型丛书，时间范围由洪荒到清末，计1000多万字，由河北教育出版社出版，其中的“古代手工业技术史”部分是由我撰写的，计30多万字。自此，我便与手工业技术史结下了不解之缘。

本书于1994年开始动笔，后因《中国古代金属冶炼和加工工程技术史》的编撰，间断了四五年时间，直到2005年才完成。计包含10个学科，即采矿、冶铸、陶瓷、机械、纺织印染、造纸印刷、火药、指南针、油漆、玻璃，不含建筑和水利；依历史年代分章，依技术系统分节、分目。书中引用的文献资料，大体上截至2005年；2006年之后者，只有少数增补。

本书涉及学科较多，做起来十分辛苦。好在我自幼生活在农村，对部分手工业技术的工艺程序略知一二；我在大学的专业是冶金学，专业基础稍宽，对此都是有帮助的。本书一方面系统地介绍了我国古代手工业各主要学科的发展概况和主要技术成就；另一方面也作了一些新的研究，并提出了一些粗浅的看法，今略举数例如下：

如“采矿史”部分，本人对“卝”字的本义采用了另外的解释。今世研究者一般认为，“卝”即是“磺”之古文，是矿井之象形字。本人经查证后认为，“卝”的本义是卵，是“未出生”、“未突破”之义，后转义为“未曾开采”。它并不是“磺”的古体或异体，《周礼》“卝人”以“卝”代“磺”，是作为假借字使用的。

如“陶瓷史”部分，今举二例。一是关于原始瓷的原料，往昔一般认为它可能是瓷石；因考虑到瓷石加工较为困难，又见部分早期陶器存在高硅制品，便提出了原始瓷原料可能主要是某种高硅粘土的观点。二是倒焰窑问题，早在20世纪60年代，便有学者提出了我国古代存在倒焰窑的观点，本人对有关资料研究后认为，迄今所见我国古陶瓷窑无一可称之为倒焰窑的。

如“机械史”部分，今举三例。一是本人对金属加工和焊接技术都作过一些科学分析，并发表过多篇论文，从而增进了我们对有关技术的认识，此前，我们对它是不了解或了解不深的。二是对平木用刨作过一些研究，发表过文章，认为它在汉代便已出现。此前，有学者认为它是明代才出现的。三是提出了《后汉书》和《三国志》中的“翻车”应是水力或人力推动的大水轮车，即普通筒车，或高转筒车的观点，而不是后世的龙骨车。认为龙骨车可能是北宋才出现的。此前一般皆认为《后汉书》和《三国志》中的“翻车”即是后世的龙骨车。

再如“纺织史”部分，今举两例。一是往昔一些学者将《农政全书》中的木棉搅车图示为脚踏式的，经查证，我认为其仍属手摇式。二是查到了一些新资料，如陕西凤翔府在北宋便贡棉布，说明当时凤翔府便已经植棉，这是此前未曾引起注意的。

再如“玻璃史”部分，本人作过一些科学考察，并发表过三篇文章，对我国古代玻璃的起源提出了管窥之见；并对先秦玻璃的着色元素找到了一些实物依据，此前尚未看到类似的分析资料。

本书纳入《中国古代工程技术史大系》（以下简称“大系”）中，是2003年底才确定的。“大系”原定20卷，但人事沧桑，在多年运作过程中，由于一些不可抗拒的因素，作者队伍发生了一些变化，某些卷目亦做出了适当调整。“大系”卷目原设计中曾有过“工程技术史综合卷”的设想，准备全书完稿后，由各卷作者共同撰写，但从现实情况看，这种“综合卷”已很难实现。最后才决定将本书纳入以代之，这自然是有利亦有弊的。

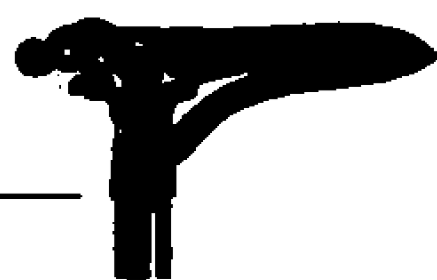
本书初稿完成后，曾分别拜请有关学科的专家王兆春（火药火器、指南针）、王菊华（造纸技术史）、安家瑶（玻璃技术史）、刘德林（井盐、天然气、石油开采技术史）、李文杰（陶瓷技术史）、李进尧（金属矿、煤矿开采技术史等）、林文照（指南针技术史）、苏荣誉（冶铸技术史）、陈振裕（油漆技术史）、张树栋（印刷技术史）、赵承泽（纺织技术史）、郭可谦（机械技术史）等先生作为主审，后由黄展岳先生复审全稿，最后又由山西教育出版社原总编辑左执中先生审阅全稿，皆提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

平凡人生，数十年中也总会遇到一些奇事和好事的，“大系”筹划过程中，我们的想法与山西教育出版社不谋而合，便是最好例子。1994年秋，《中国古代工程技术史大系》正在策划过程中，出版问题一直没有眉目。某日上午下班后，我刚走出单位大门，便遇上了前来组稿的山西教育出版社王佩琼先生，他说明了来意，希望组织一部工程技术史方面的大型丛书。真是不期而遇、不谋而合，双方都十分高兴。在商品社会、市场经济条件下，人心中多怀一股莫名的冲动，空气里弥漫一种别样的气味，山西教育出版社不但资助了“大系”出版，而且每卷资助了1万元科研费，其心可鉴，其志可铭，“诚意动天”①。佩琼本人不但付出了大量心血，也蒙受了不少经济损失。王佩琼先生系博士，多才多艺，业余时一直从事科学哲学的研究，并有较深造诣；其喜作古体诗词，既情情切切，又荡气回肠。近日承蒙惠赐，并得允抄录一首“桂枝香——北京怀古”如下，以共飨之：

> 危处凭栏，观苍茫晨色，残星零露。一行大雁飞绝，清秋盈目。
> 朱墙翠瓦西风里，谁鸣钟唤醒无数。香炉霜叶，万寿昆明，长卷画图。
> 古燕地，多少铁骑。沐腥风血雨，英雄仆继。悲歌慷慨，千古回肠荡气！

---

① 明宋应星在《天工开物·序》中说：《天工开物》卷毕，“伤哉贫也”，无力付梓。好友涂伯聚先生刚支持他出版了《画音归正》一书，现又资助他出版《天工开物》，宋应星十分感动，高声盛赞涂伯聚“诚意动天”。



永乐康乾卧土丘，乐毅元汗觅无迹。游人惟睹，北海九龙，天坛音壁。

真乃“黄绢幼妇，外孙齑臼”①。

本人平生无甚嗜好，不抽烟，不喝酒，不打牌，不踢球。偶尔浏览一下文艺作品，有时亦胡诌一首歪诗，皆为消遣故，多年来只有四首词在不经意间让友人发表过。某日忙中偷闲，再次读到了李太白诗句：“天地者万物之逆旅，光阴者百世之过客”，又有一些新的感悟。今拾得打油诗一首，唤做“我悄悄地走来”，抄录如下，作为“后记”之结语：

我悄悄地走来，来到那僻静的山村；我悄悄地离去，消失在茫茫的荒原。

世上原无我，只有山花、小草和清泉；只因上苍的欢爱，才飘落到了这繁杂的世间。

多少梦幻和追求，多少痴情和爱恋；多少忧伤和自得，都不过是一刹那的风烟。

我悄悄地走来，带来的是一声轻轻的呼唤；我悄悄地离去，带走的是一缕细细的青烟。

我化做一抔净土，培育一株禾苗；化做一滴露珠，滋润一棵芳草。我已不再是我，——是清风，是彩霞，是田野里的欢笑。

何堂坤　2006 年 12 月

① 南朝刘义庆《世说新语》卷中下“捷悟第十一”：“魏武尝过曹娥碑下，杨脩从，碑上见题‘黄绢幼妇，外孙齑臼’八字。魏武谓脩曰：‘解不’？答曰：‘解。’魏武曰：‘卿未可言，待我思之。’行三十里，魏武乃曰：‘吾已得。’令脩别记所知。脩曰：‘黄绢，色丝也，於字为绝。幼妇，少女也，於字为妙。外孙，女子也，於字为好。齑臼，受辛也，於字为辞。所谓绝妙好辞也。’魏武亦记之，与脩同。乃叹曰：‘我才不及卿乃觉三十里。’”（文渊阁《钦定四库全书》抄本，武汉大学出版社电子版第 335 碟）